

Trabajo Fin de Grado

Estudio y posible mejora de las torres de
vigilancia en COPs

Autor

C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa

Directores

Dra. D^a. Beatriz Rodríguez Soria
Cap. D. Fernando Francisco Gestoso Blasco

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
Año 2017

[PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO]



RESUMEN

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es la realización de un diseño estandarizado y modular de las torres de vigilancia en el Ejército de Tierra (ET) para los Puestos Avanzados (COPs), debido en gran medida a la falta de medios y procedimientos estandarizados en este tipo de construcciones.

Para ello se hará una comparativa de las diferentes torres de vigilancia en el ET y sus materiales, que junto a las encuestas realizadas por el personal especializado en la construcción de este tipo de infraestructuras, proporcionarán información para una propuesta que satisfaga las necesidades actuales del ET. Con la información extraída se concluye que la mejor opción es la construcción de una torre en base a elementos modulares de hormigón.

Para dimensionar y calcular los elementos modulares que componen la torre se ha llevado a cabo un estudio de las amenazas más comunes a las que se enfrenta el ET en las misiones actuales intentando acotar el nivel amenaza al que son sometidos nuestros efectivos.

Con los resultados obtenidos se ha diseñado la torre, realizando tanto el presupuesto como los cálculos y planos necesarios para su ejecución.

ABSTRACT

Main objective of this End Degree Project is to undertake a modular and standardized design of the Army watchtowers for Combat Outposts (COPs) mainly due to the lack of resources and standardize procedures for this type of buildings.

In order to do so, we will carry out a comparison of the Army's watchtowers as well as of its materials, this coupled with the interviews undertaken by the specialized personnel in building this type of constructions we will obtain the information required to meet the current Army needs. With the information obtained, it is suggested that the best option is building a concrete based modular tower.

In order to get insight of the modular elements involved in this building, a survey of the most common threats faced by Army in current missions has been undertaken trying to emulate current level of threats faced.

The watchtower's design together with the results obtained, budget, figures and blueprints needed have been included in order to carry out execution.

Lema del Arma de Ingenieros

Nuc mierva postea palas

(Primero la sabiduría, después la guerra)

AGRADECIMIENTOS

Antes de comenzar con la realización de la memoria del Trabajo de Fin de Grado (TFG), me gustaría dar las gracias a aquellas personas que han ayudado en gran medida a alcanzar los objetivos que me había propuesto. Comenzando por mis familiares y amigos por el gran apoyo moral durante estos meses y siguiendo por la directora académica, la Dra. Dña. Beatriz Rodríguez Soria, que comenzó aportando una base sólida y unos conocimientos previos sobre los que apoyar la estructura del trabajo, así como la rápida atención a todas mis dudas y consultas.

Por otro lado, gracias por la acogida a la BRIMZ X que fue excelente y a todos los mandos del BZAP X, destacando la labor de mi director militar, el Capitán Don Fernando Francisco Gestoso Blasco que consiguió aportarme todo lo que necesitaba tanto para la realización del trabajo como para las prácticas de mando.

También quería agradecer al resto del personal del BZAP X así al resto de mandos de otras unidades por su colaboración a la hora de responder a mis encuestas y al resto de profesores del Centro Universitario de la Defensa que me han aportado los conocimientos necesarios para la elaboración de mi trabajo.

Por último, pero no menos importante, me gustaría dar las gracias a todas las empresas civiles por su colaboración y ayuda, en la realización de este TFG haciendo posible su culminación.



INDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	3
AGRADECIMIENTOS	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE TABLAS	8
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 Antecedentes.....	11
1.2 Objeto y alcance del proyecto	11
1.3 Ámbito de aplicación de la torre de vigilancia	12
2. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	13
3. ESTADO DEL CONOCIMIENTO	14
3.1 Definición de una COP del ET.	14
3.1.1 Zonas que componen un COP	15
3.2 Torres de vigilancia construidas por el ET.	15
3.3 Materiales empleados en la construcción	17
3.3.1 Hesco Bastion	17
3.3.2 Bloques de hormigón	19
3.3.3 Hormigones	22
4. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA.....	24
4.1 Tipos de agresiones y efectos producidos en la infraestructura	25
4.2 Partes afectadas en la infraestructura	26
4.3 Caracterización de la amenaza	27
5. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TORRES DE VIGILANCIA EN COP´S	28
5.1 Análisis de los datos recopilados	28
5.2 Selección de la tipología más adecuada.....	29
5.2.1 Modelo para calcular el Score:	29
5.2.2 Conclusión	31
6. DESARROLLO DE LOS NUEVOS MÓDULOS ESTANDARIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TORRES DE VIGILANCIA EN COPS.	32
6.1 Cálculos balísticos	32
6.1.1. Cálculo balístico para amenazas tipo A1	33
6.1.2. Cálculo balístico para amenazas A2, A3	35
6.1.3 Conclusiones.....	36
6.2 Programa de necesidades. Diseño de la torre	37
6.3 Diseño de módulos estandarizados	39
7. PRESUPUESTO.....	40

8. CONCLUSIONES.....	41
8.1 Posibles líneas futuras	42
BIBLIOGRAFÍA.....	43
ANEXOS	47
ANEXO A-ESTUDIO DE LAS PRINCIPALES TORRES DE VIGILANCIA CONSTRUIDAS POR EL ET.....	49
ANEXO B-PROTECCIÓN MEDIANTE HESCO BASTION	57
ANEXO C-ENCUESTAS	58
ANEXO D-COMPORTAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA REFORZADOS CON FIBRAS	82
ANEXO E-CARACTERÍSTICAS DE LOS PROYECTILES EMPLEADOS EN LOS ENSAYOS Y CÁLCULOS.	88
ANEXO F-ENSAYOS BALÍSTICOS.....	93
ANEXO G-PUERTA BLINDADA	105
ANEXO H-MEDIOS DE TRANSPORTE DEL ET	107
ANEXO I-PLANOS	110
ANEXO J-LOSA DE CIMENTACIÓN.....	111
ANEXO K-SISTEMAS DE ELEVACIÓN	115
ANEXO L-SISTEMAS DE UNIÓN.....	118
ANEXO M-ANÁLISIS DE COSTES.....	122



ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Hesco Bastion	17
Ilustración 2: Prueba de resistencia de bloques de hormigón frente a un mortero de 81 mm.....	21
Ilustración 3: Medidas de la escalera interior	38
Ilustración 4: Torre de vigilancia	39
Ilustración 5: Tipos de uniones.....	40
Ilustración 6: Torre de vigilancia de hescos y cubierta de metal y hescos	50
Ilustración 7: Torre de vigilancia de hescos y cubierta de metal y hescos	50
Ilustración 8: Torre de vigilancia en base a contenedores.....	52
Ilustración 9: Torre de vigilancia de madera con refuerzo de Hesco Bastion.....	53
Ilustración 10: Torre de madera con refuerzo de Hesco Bastion (Dibujo).....	53
Ilustración 11: Torre en base a módulos de hormigón	55
Ilustración 12: Torre en base a módulos de hormigón	55
Ilustración 13: Torre en base a bloques de hormigón	56
Ilustración 14: Torre en base a bloques de hormigón	56
Ilustración 15: Datos estadísticos de las encuestas	59
Ilustración 16: Datos estadísticos de las encuestas	59
Ilustración 17: Fenómenos en un blanco de hormigón.....	83
Ilustración 18: Dosificaciones de hormigones de prueba	84
Ilustración 19: Placas de hormigón	93
Ilustración 20: Galería de tiro	94
Ilustración 21: Datos técnicos de la puerta	105
Ilustración 22: Datos técnicos de la puerta	106
Ilustración 23: Avión Antonov AN-124-100.....	107
Ilustración 24: Avión A-400M.....	107
Ilustración 25: Camino Español	108
Ilustración 26: Características del camión IVECO M250	108
Ilustración 27: Características de la grúa Luna.....	109
Ilustración 28: Cálculos de la losa de cimentación.....	112
Ilustración 29: Cargas lineales	113

Ilustración 30: Armado de la losa de cimentación	113
Ilustración 31: Cuantías del armado y encofrado	114
Ilustración 32: Elevación de la carga	115
Ilustración 33: Eslinga	115
Ilustración 34: Colocación de las eslingas en la semi-cubierta	116
Ilustración 35: Garras para bloques	117
Ilustración 36: Medidas de la garras para bloques	117
Ilustración 37: Tornillo hexagonal	118
Ilustración 38: Tuerca hexagonal	119
Ilustración 39: Arandela	119
Ilustración 40: Tornillo de anclaje a losa	120
Ilustración 41: Proceso de instalación del tornillo a la losa	120
Ilustración 42: Medidas del perfil en L	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de torres de vigilancia	16
Tabla 2: Tipos de Hescos.....	18
Tabla 3: Pruebas de resistencia de mortero y cohete	21
Tabla 4: Pruebas de resistencia del hormigón armado	23
Tabla 5: Tipos de agresiones.....	25
Tabla 6: Partes afectadas en la estructura	26
Tabla 7: Ponderación respecto a los criterios	30
Tabla 8: Resultado del método de aplicación.....	31
Tabla 9: Efecto del proyectil en función del ángulo de impacto en hormigones....	35
Tabla 10: Ficha técnica de las encuestas	58
Tabla 11: Propiedades del cemento	85
Tabla 12: Propiedades de los áridos	85
Tabla 13: Propiedades de la grava.....	85
Tabla 14: Propiedades de las fibras	86
Tabla 15: Propiedades del superplastificante	86



Tabla 16: Propiedades del humo de sílice	86
Tabla 17: Dosificación del HAR	87
Tabla 18: Calibre 7,62 mm	88
Tabla 19: Calibre 12,70 mm	89
Tabla 20: Calibre 20 mm	90
Tabla 21: Calibre 25 mm	91
Tabla 22: Mortero de 81 mm	92
Tabla 23: Características de la eslinga	116
Tabla 24: Medidas del modelo TAG	117
Tabla 25: Datos técnicos del modelo TAG	117
Tabla 26: Características del tornillo roscado	118
Tabla 27: Características de la tuerca	119
Tabla 28: Características de la arandela	119
Tabla 29: Medidas del tornillo de anclaje a la losa	120
Tabla 30: Características del acero F-36	121
Tabla 31: Importe piezas de hormigón	122
Tabla 32: Importe losa de cimentación	123
Tabla 33: Importe elementos de unión	123
Tabla 34: Importe de los perfiles en L	124
Tabla 35: Importe ventanas	124
Tabla 36: Importe puerta blindada	125
Tabla 37: Importe de elementos de sujeción y elevación	125
Tabla 38: Importe por partidas	126

[PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO]



1. INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo, consiste en diseñar una torre de vigilancia tipo para los puestos de combate (COPs) mediante elementos y procedimientos estandarizados, que cumpla con los requerimientos mínimos de confort para una adecuada vigilancia y respuesta en caso de ataque, así como con las medidas de seguridad necesarias.

Para ello es necesario estudiar tanto los procedimientos de construcción y los elementos resultantes, así como los posibles materiales a seleccionar.

1.1 Antecedentes

Con la llegada de la globalización, el conflicto armado por excelencia que se vive en la actualidad es aquel que enfrenta a un ejército convencional y la insurgencia.

En los últimos años el aumento de misiones en el exterior por parte de las Fuerzas Armadas (FAS) ha propiciado la necesidad de establecer unos procedimientos estandarizados para la construcción de infraestructuras en Zona de Operaciones (ZO) especialmente las pertenecientes a una COP, las cuales deben de responder a las necesidades de protección y modularidad para adecuarse a las características de las misiones actuales.

En la actualidad la mayor parte de infraestructuras construidas por ET dentro de una COP cuentan con un modelo tipo para implementar en cada tipo de misión, a excepción de un par de infraestructuras entre las que se incluyen las Torres de Vigilancia.

Por otro lado, el fallecimiento del Cabo Francisco Javier Soria Toledo destinado en la base de Cerro Muriano (Córdoba) el 28 de enero del 2015 en el Líbano, el cual se encontraba en la torre de vigilancia Sur UNP 4-28 protegiendo el repliegue de los compañeros de UNIFIL que no habían alcanzado la zona, provocó la necesidad de revisar los procedimientos de construcción de las torres de vigilancia [1].

Es por esto que el Batallón de Zapadores X (BAZAP X) detectó la necesidad de estandarizar la construcción de las torres de vigilancia, como uno de los elementos no estandarizado y modularizado y con serias carencias de protección en las COPs.

1.2 Objeto y alcance del proyecto

El objetivo del presente trabajo es el diseño y concepción de una torre de vigilancia desplegable a ZO mediante los medios con los que cuenta el ET. Para ello haremos un estudio de los diferentes materiales con los que actualmente se construyen o se podrían construir estas torres, determinado así que material o materiales brindan una mejor protección y son más aptos para implementar en las torres de vigilancia. Esta torre de vigilancia debe suponer un avance con respecto a las

otras en materia de seguridad, confortabilidad, protección, facilidad y rapidez de montaje y mantenimiento.

Para el desarrollo de la nueva torre de vigilancia se realizarán los siguientes pasos:

1. Estudio de las distintas torres de vigilancia a nivel nacional.
2. Estudio de las características de los distintos materiales utilizados en la protección de las torres de vigilancia.
3. Estudio de las amenazas más comunes en las misiones internacionales así como las medidas de protección a adoptar en cada caso.
4. Selección de material y tipología más adecuada.
5. Estudio y cálculo balístico para las especificaciones técnicas del material.
6. Diseño de la torre de vigilancia en función del estudio realizado.
7. Obtención del presupuesto.

Ahora bien, hay que destacar que quedan fuera del alcance del proyecto: **a)** la realización de los ensayos balísticos realizados con proyectiles superiores a 81 mm así como bombas de aviación, proyectiles de artillería y armas anticarro **b)** la implementación de materiales eléctricos o de vigilancia en el interior de la torre como por ejemplo (cámaras de vigilancia, focos, alarmas, sensores, etc.)

Junto a esto hay que aclarar que el diseño y caracterización de la torre es orientativo y nunca definitivo. Esto se debe principalmente a que las encuestas realizadas por el grupo de expertos pese a su dilatada experiencia, no son suficientes para sentar las bases de una propuesta sólida única para todos los escenarios posibles. La falta de pruebas y ensayos experimentales en las diferentes áreas balísticas, así como la gran variedad de escenarios en los que se enfrenta el ET, dificultan la estandarización de una torre de vigilancia que valga para cualquier ambiente y/o enemigo.

1.3 Ámbito de aplicación de la torre de vigilancia

En líneas generales, el ámbito de aplicación de la torre de vigilancia es principalmente las FAS, como medio defensivo para hacer frente a los conflictos en ZO. En el propio marco de las FAS, este proyecto estará enfocado, a que las distintas unidades de la fuerza encargadas de la protección de la base, puedan llevar a cabo las labores defensivas y de vigilancia de la forma más segura y cómoda posible.

Por otro lado estará destinado a que las pequeñas unidades militares de zapadores estén dotadas de unos procedimientos para reducir los tiempos de trabajo y ejecución en la construcción de las torres de vigilancia.

Del mismo modo, al trabajar España en un entorno internacional con otras organizaciones como la ONU u OTAN es necesario un buen desarrollo y diseño que permita en el caso de ser necesario su utilización por parte de otros ejércitos.



2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El estudio previo para desarrollar los puntos 1, 2, 3 y 4 del apartado 1.2 Objeto y alcance del proyecto, se realizó por medio de una serie de encuestas realizadas al personal especializado en la construcción de torres de vigilancia. Con ellas se pretende obtener la información necesaria para evaluar los posibles requerimientos y deficiencias que tienen en la actualidad las torres construidas en ZO, para así obtener un modelo que satisfaga las necesidades de las unidades en cuanto a construcción y protección se refiere.

Estas encuestas fueron desarrolladas bajo la supervisión del tutor militar, experto en la construcción de torres de vigilancia y de la tutora académica.

Su objetivo principal era recabar información sobre los problemas actuales de las torres de vigilancia y por tanto averiguar las fortalezas y debilidades con que cuentan las mismas en la actualidad.

Se pretende también averiguar los parámetros que más afectan en su buen funcionamiento así como la importancia de cada uno mediante factores ponderados, para así poder proponer un modelo que satisfaga las necesidades actuales. Para poder proporcionar orientación en el proceso de toma de decisiones antes mentado, se ha propuesto una metodología multicriterio. En concreto, se ha empleado el método multicriterio denominado *SCORING*.

Las encuestas fueron complementadas con entrevistas mediante las cuales se obtuvo información sobre la construcción de diferentes torres de vigilancia existentes para el desarrollo de los puntos 1 y 2.

Uno de los principales problemas de la construcción de una torre de vigilancia, reside en la gran variedad de munición existente en los conflictos, por lo que no se puede proponer un tipo de torre que valga para cualquier tipo de amenaza. Es por esto que el problema se solventará acotando la torre para un tipo de munición determinada en base a las distintas misiones que se han realizado y se están realizando en la actualidad. Para ello se desarrollará una evaluación de las amenazas más comunes en las que España se ha visto o se podrá ver afectada, que se completará con una serie de consultas al personal participante en las misiones españolas mediante sucesivas entrevistas.

Los datos balísticos para realizar el estudio del comportamiento de los diferentes materiales que posteriormente se utilizarán para la caracterización de la torre de vigilancia han sido sacados de diversas fuentes y manuales de ingenieros así como de proyectos realizados por el Instituto Tecnológico la Marañosa, que se irán citando en el desarrollo del TFG.

Con los datos recopilados se propondrá un diseño que satisfaga el programa de necesidades que proporcione una adecuada seguridad y de prioridad a los parámetros más importantes detectados en las encuestas.

Una vez establecido el diseño óptimo, se realizará el diseño de las piezas necesarias y sus uniones, de forma que los elementos sean modulares y repetitivos, dando lugar a un montaje intuitivo, rápido y fiable.

Puesto que se trata un proyecto propiamente de diseño se utilizará para ello programas como *AUTOCAD* y *SKETCHUP* para el diseño de la estructura propia y de los detalles de esta.

Se calculará la losa de cimentación necesaria con el programa *CYPE* para un terreno muy desfavorable, ya que si cumple en este, cumplirá en los restantes que sean más favorables. Se hizo un predimensionado para diferentes tipos de terrenos y se comprobó que no variaba el armado prácticamente debido a la propia dimensión de la losa para abarcar la superficie de la base de la torre

Desarrollado el diseño, se realizará el presupuesto de la construcción de la torre con el generador de precios del programa *CYPE* y mediante la consulta de precios a distintas empresas del sector.

3. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

A continuación se presenta un análisis de los materiales empleados en las torres de vigilancia para su construcción. La información se ha obtenido de diversos manuales y de la información recabada con los expertos de la BAZAP X.

3.1 Definición de una COP del ET.

La COP es un destacamento ocupado, normalmente, por Subgrupos Tácticos (S/GT, s) con capacidad de realizar con carácter general acciones ofensivas, de apoyo a seguridad y de apoyo humanitario. La COP depende de una base principal para el apoyo logístico y se caracteriza por la primacía de la protección de la fuerza sobre la comodidad, lo que limita sus infraestructuras.

Se considera que es una construcción temporal con un tiempo de permanencia variable pero que suele oscilar entre 6 meses y 24 meses. Este tipo de construcción puede llegar a ser, en un momento dado, desmontable. El criterio principal para su diseño y ejecución es que la mayor parte del material sea reutilizable y, en su caso, pueda ser empleado para la construcción de una nueva COP/OP. Normalmente, no se efectúan obras de fábrica e instalaciones ancladas al terreno de carácter permanente, a no ser, que la permanencia en ZO sobrepase los 12 meses [2].



3.1.1 Zonas que componen un COP

Básicamente se consideran las siguientes zonas [2].

1. Zona de seguridad y control: perímetro, accesos, asentamiento vehículos, refugios, torres de vigilancia, etc.
2. Zona de viales, aparcamientos y helipuertos.
3. Zona de mando: puesto de mando y centro de transmisiones.
4. Zona de vida: alojamiento, puesto de socorro, etc.
5. Zona de servicios: cocina, almacenes, comedor, locutorio, letrinas, etc.
6. Zona logística: centro repostaje, suministro eléctrico, captación y depuración de aguas, etc.

3.2 Torres de vigilancia construidas por el ET.

En función del tipo de misión, la permanencia en la ZO, la disponibilidad de los materiales así como el tipo de armamento empleado por el enemigo, se suele acometer un tipo diferente de torre de vigilancia en cada caso. En la actualidad existen una gran variedad de torres de vigilancia. Si bien es cierto que en los últimos años el hormigón y el acero han empezado a abrirse paso en este tipo de construcciones gracias a sus avances tecnológicos en lo que a blindaje se refiere.

Sin embargo, la gran variedad de misiones en las que participa España ha imposibilitado la creación de una torre de vigilancia tipo estándar que se ajuste a los requerimientos del ET en misiones internacionales.

Por normal general el tipo de estructuras que se suelen acometer para las torres de vigilancia de las COPs se ejecutan mediante Hesco Bastion, debido principalmente a que son elementos fáciles de transportar y que el material de aporte se puede coger directamente del propio terreno. Sin embargo, también se han realizado obras con otros materiales como hormigón, madera, bloques de hormigón y contenedores prefabricados.

A continuación se muestra un resumen de las principales características de las torres de vigilancia creadas en misiones internacionales por el ET español (ver **Tabla 1**). Para consultar más datos sobre sus características y construcción consultar el **Anexo A- Estudio de las principales torres de vigilancia construidas por el ET**.

	Precio aproximado	Tiempo aproximado de ejecución	Grado de protección	Reutilización
Torre de Hescos	El precio oscilará entre 15.000 y 17.000 €.	(Alto) Depende del tipo de construcción, por lo general entre 24-32 horas de trabajo.	(Medio M06*). Muros de hescos de protección media y cubierta metélica y de madera con refuerzo de hesco.	Posible la reutilización parcial pero no completa.
Torre con contenedores	Entre 4.000 y 7.000 € (más protección de Hescos y losa de cimentación).	(Bajo) Sin contar el tiempo de llenado de los sacos y hescos y el fraguado de la losa la torre se monta aproximadamente en una 1 hora.	(Bajo). Tanto los muros como la cubierta ofrecen escasa protección frente a todo tipo de impactos, lo que obliga a ser reforzada con sacos terreros o hescos tanto la cubierta como los muros.	Sí es posible su reutilización.
Torre de madera	El precio estará entre 6.000-8.000 € (más protección de Hescos)	(Medio) La principal dificultad reside en el montaje y nivelación de los listones de madera por lo que el tiempo de la estructura oscilará entre las 5-6 horas.	(Bajo C05*). La estructura de la torre y la cubierta están hechas con vigas de madera lo que da una protección y estabilidad relativamente baja. La protección se completa reforzando la estructura con sacos terreros y Hesco Bastion (M06).	Posible la reutilización parcial pero no completa.
Torre con módulos de hormigón	Dependerá tanto del país, como del tipo de hormigón utilizado así como el tamaño de los módulos, por lo que su precio podrá oscilar entre 2.000 a 3.000 € el módulo (más losa de cimentación).	(Bajo) Eliminando el tiempo de fraguado de la losa de cimentación, la torre se tarda en montar de 1-2 horas	(Alto M01, M03*). Ofrece un alto grado de protección en los 360° contra la mayoría de ataques. Tanto los muros como la cubierta son de hormigón en masa (M03), (C03) o armado (M01), (C02).	Sí es posible su reutilización.
Torre de bloques de hormigón	El precio oscilará entre 8.000-10.000 € (más losa de cimentación).	(Muy Alto) Rondará entre las 48 y 72 horas de trabajo.	Medio (M05*). Ofrece un nivel aceptable de protección frente a armas de tiro tenso, pero es vulnerable frente obuses y morteros de medio y gran calibre.	No es posible su reutilización.

Tabla 1: Tipos de torres de vigilancia
Fuente: [\[Elaboración propia\]](#)

*Ver apartado 4.2 Partes afectadas en la infraestructura pág. 26-27



Hay que aclarar que los ejemplos aquí expuestos sobre torres de vigilancia, son algunos de los muchos modelos que se han construido ya sea en base a hescos, madera o cemento puesto que como se ha comentado antes no hay ninguna estandarizada.

3.3 Materiales empleados en la construcción

A continuación se muestra un resumen de los materiales empleados en la construcción de las torres de vigilancia para determinar cual ofrece mejores resultados en cuanto a blindaje.

3.3.1 Hesco Bastion

El Hesco Bastion es una estructura soldada de malla de alambre antioxidante de forma cúbica. Originalmente se diseñó para ser usado en obras de carácter civil como la protección contra la erosión y el control de inundaciones en playas y marismas. Este dispositivo fue rápidamente popularizado por el ejército americano en el ámbito militar durante la guerra de Irak y Afganistán en la década de 1990. La estructura está revestida en el interior por un geotextil fijado con grapas para facilitar el relleno. Cada celda/módulo se llena con los materiales de campo disponibles, y cada Hesco se une al siguiente por medio de espirales rígidas y una barra de metal para una unión de bisagra [3].



Ilustración 1: Hesco Bastion

Fuente: [4]

3.3.1.a Tipos

A día de hoy existen varios tipos de Hescos en el mercado aunque los más popularizados son el americano y el chino, siendo el americano el que generalmente utilizan la mayoría de los ejércitos de todo el mundo incluyendo España. Dentro del modelo americano existen una gran variedad de Hescos.

A continuación la **Tabla 2** muestra los Hescos más comunes, destacando el MIL 1 y MIL 5 generalmente empleados por España en las fortificaciones de garitas y torres de vigilancia. La designación MIL hace referencia a la unidad de medida del Hesco para referirse a su altura, anchura y longitud.

Tipo	Altura (m)	Anchura (m)	Longitud (m)	Numero de celdas
MIL nº1	1,37	1,06	10,00	9
MIL nº2	0,61	0,61	1,22	2
MIL nº3	1,00	1,00	10,00	10
MIL nº4	1,00	1,52	10,00	15
MIL nº5	0,61	0,61	3,05	5
MIL nº6	1,68	0,61	3,05	10
MIL nº7	2,21	2,13	27,74	13
MIL nº8	1,37	1,22	10,00	8
MIL nº9	1,00	0,76	9,14	12
MIL nº10	2,21	1,52	30,05	19

Tabla 2: Tipos de Hescos
Fuente: [5]

3.3.1.b Ensayos balísticos

El Hesco ha sido sometido a extensas pruebas por parte de los organismos de prueba y evaluación del respectivo Departamento de Defensa del Reino Unido y los Estados Unidos. Otras pruebas técnicas formales se han llevado a cabo también por parte de otras fuerzas armadas y organizaciones internacionales como la NATO.

El rango de munición empleado en los ensayos por los distintos departamentos incluye las siguientes pruebas en un rango de 200 m.

- Armas de pequeño calibre (5,56 mm, 7,62 mm 12,70 mm, y 14,5 mm) disparadas en disparo simple y en modo automático.
- proyectiles de calibre grande (122 mm y 155 mm).
- Lanzagranadas del tipo RPG7 (Rocket Propelled Grenade (Granada Propulsada)) en contacto directo y en explosiones a un metro de distancia.

Los resultados de estas pruebas han demostrado que una estructura de Hescos diseñada, construida y rellena perfectamente, aumenta la posibilidad de supervivencia del personal en un 80 % durante los ataques directos e indirectos de este tipo de munición [6].

Para una adecuada protección el método de relleno estimado será mediante tongadas de 25 cm aproximadamente apisonando bien la tierra entre tongada y tongada.



La grava y los áridos de mayor tamaño brindan una protección mayor que la tierra o arena húmeda. Por otra parte, la detonación de un impacto, podría producir que los fragmentos de roca que contienen fueran proyectados, representando un peligro secundario. Un aspecto muy importante a tener en cuenta a la hora de rellenar el hesco con arena es que hay que proteger la parte superior con algún tipo de aislante que impida la filtración de lluvia, ya que esta podría producir el crecimiento de plantas que podría alterar las capacidades del Hesco y deteriorarlo.

Los Hescos de más de 1 m de ancho y rellenos con tierra o grava pueden proteger contra todas las armas de pequeño calibre comprendido entre 5,56 mm y 12,70 mm, es por esto que son los más utilizados para la protección de torres de vigilancia.

Para la protección contra las armas de gran calibre (proyectiles de mortero de 105 mm y 155 mm RPG7), se requiere un espesor mínimo de 1,50 m. Un espesor de 2 m ofrece protección suficiente si el material de relleno es de mala calidad.

Para la protección contra lanzagranadas superiores como es el tipo TBG-7V o equivalentes en peso de carga explosiva, es necesaria una protección mayor de 5 m de profundidad. Esta se consigue apilando Hescos uno tras otro hasta conseguir el espesor necesario [6].

En el **Anexo B-Protección mediante Hesco Bastion**, se muestra la protección necesaria mediante estructura Hesco Bastion para distinto tipos de armamento.

3.3.1.c Ventajas y desventajas

La principal desventaja es que a menudo se utilizan en condiciones de emergencia, en las que no siempre se llenan ni con el material perfecto, ni de la forma correcta por lo que se debe tener en cuenta que el rendimiento y la protección de los Hescos se reducirán. Además es necesario el uso de grúas y maquinaria de construcción para lograr un trabajo rápido y eficiente [7]. Otra desventaja que tiene el Hesco es que una vez relleno de arena u otro material es imposible su reutilización ya que casi siempre se terminan rompiendo cuando se desmontan.

En cuanto a las ventajas que tiene la utilización del Hesco son por una parte que tiene una alta velocidad de implementación, una ventaja logística interesante ya que el material de relleno se encuentra en la ZO. Además es plegable y fácilmente transportable, se pueden configurar de forma manual, sin utilizar una grúa, tiene un peso bajo y una alta capacidad de modularidad e implementación en todo tipo de teatro. Su coste es relativamente bajo (100 € el modulo tipo MIL 1).

3.3.2 Bloques de hormigón

El bloque de hormigón es un elemento prefabricado de hormigón generalmente de cemento portland, el cual está destinado a la construcción de mampostería aunque desde hace unos años es también muy utilizado en el mundo militar como medio de

protección. Aunque su tamaño es mayor que el del ladrillo común, sus dimensiones permiten su fácil transporte, almacenaje, manipulación y colocación, de forma manual y sin apenas equipos especiales. Su puesta en obra es similar a la empleada en la mampostería de ladrillos con la ventaja de que brinda una mayor protección y resistencia frente a impactos.

Los agujeros de los bloques brindan la posibilidad de rellenarlos con otros materiales aumentando su resistencia frente a impactos y ondas de choque.

Los bloques se designan por sus medidas nominales. Así, las medidas nominales del bloque de mayor uso son 20 x 20 x 40 cm [8].

3.3.2.a Tipos

Actualmente existen una gran variedad de bloques en cuanto a tamaños y formas, cada uno con su función propia dentro de la pared evita los cortes y la preparación de piezas como así también el encofrado de las vigas de encadenado horizontal y columnas de vinculación en las intersecciones de muros. En el mundo militar generalmente el más utilizado es como hemos dicho antes el de 20 x 20 x 40 cm para la construcción de paredes, aunque en cierto modo la utilización de un tipo u otro dependerá del tipo de construcción a llevar a cabo.

3.3.2.b Ensayos balísticos

En la actualidad no existen prácticamente pruebas a nivel militar de la resistencia que ofrecen estos bloques frente a impactos de proyectiles de tiro directo e indirecto. Hasta ahora los ensayos realizados con estos elementos han sido frente a proyectiles de pequeño calibre de tiro tenso (5,56 mm y 7,62 mm) ofreciendo una resistencia considerable y deteniendo el proyectil en su totalidad pese a la rotura del bloque [9]. Esta resistencia se ve aumentada si el bloque es rellenado en su totalidad con cemento u otro material como arena o grava, siendo preferible el uso de estos dos últimos ya que mejoran el aislamiento térmico y además ofrecen una mejor resistencia frente a impactos al absorber mejor la energía del proyectil impidiendo la fractura de la cara posterior y evitando el desprendimiento de fragmentos que dañen al personal.

Por otra parte, estos bloques ofrecen una protección muy limitada contra impactos de cohete de pequeño calibre. La siguiente tabla (ver **Tabla 3**) muestra los datos de campo obtenidos frente a los impactos de cohetes y morteros de pequeño calibre.



Arma	Distancia	Efecto
Mortero de 82 mm	2 m	La superficie tiene daños significativos, pero no hay movimientos de bloques.
Mortero de 82 mm	1 m	La superficie tiene daños significativos. Hay movimiento de más de 40 mm para los bloques de planta baja. No hay astillas más allá de 2 m.
Mortero de 82 mm	0,01 m	Dislocación completa de la pared localizada.
Cohete de 107 mm	2 m	Daños en un área muy importante. No hay bloques de movimiento.
Cohete de 107 mm	1 m	La parte superior de la pared se mueve al menos 20 cm y condujo a la caída de varios bloques.
Cohete de 107 mm	0 m	La mitad de la pared fue destruida.

Tabla 3: Pruebas de resistencia de mortero y cohete

Fuente: [9]

**Ilustración 2:** Prueba de resistencia de bloques de hormigón frente a un mortero de 81 mm

Fuente: [9]

3.3.2.c Ventajas y desventajas

La construcción con bloques presenta ventajas económicas, su coste variará en función del país y del contratista, pero por lo general son relativamente económicos en comparación con cualquier otro sistema constructivo tradicional. Poseen una durabilidad y desperdicio casi nulo por lo que son muy empleados en la construcción de sistemas modulares. Tienen una buena resistencia al fuego ya que puede alcanzar los 240 minutos conservando sus características estructurales. Su resistencia a la compresión es alta pudiendo llegar a superar los 10 N/mm², lo que permite su empleo en muros resistentes [10].

Se adaptan a la mayoría de las necesidades dentro de los campamentos. Son fáciles de transportar individualmente debido a sus dimensiones y peso. Este tipo de materiales son muy fáciles de encontrar en otros países por lo que suele contratarse proveedores locales.

La principal desventaja de este tipo de pared es la escasa protección que ofrece frente a impactos de mortero, así como de armas de calibre superior. Esto obliga a aumentar el refuerzo de las paredes con un doble muro o añadiendo otros elementos como sacos terreros o Hescos. Además, no son reutilizables y tiene el inconveniente que hay que dismantelar y gestionar la instalación una vez terminada la operación, lo que lleva tiempo y dinero.

3.3.3 Hormigones

El hormigón es una mezcla formada por la unión de cemento, áridos finos y gruesos con un aglomerante y un porcentaje de agua, todo ello unido en debidas proporciones ofrece una mezcla de alta resistencia. Debido a sus características (docilidad, impermeabilidad, durabilidad, alta resistencia a compresión etc.) ha propiciado su alta utilización en la ingeniería civil (puentes, presas de embalse, reactores, tanques de almacenamiento, etc.)

Gracias a su ductilidad permite obtener formas complejas por su fácil moldeabilidad. Con relación a sus propiedades mecánicas, al igual que los materiales pétreos presenta una buena resistencia a compresión, pero reducida resistencia a tracción, por lo que en piezas o elementos constructivos que trabajen a flexión requiere el empleo de material de refuerzo que soporte los esfuerzos de tracción [11].

3.3.3.a Tipos de hormigón

En la actualidad existen varios tipos de hormigones, sin embargo debido a la gran cantidad que hay de ellos sólo se exponen los más comunes [11].

- a. Hormigón en masa: utilizado como único componente.
- b. Hormigón ligero: compuesto por áridos ligeros.
- c. Hormigón armado: combinado con barras o elementos de acero que mejoran la resistencia a flexión.
- d. Hormigón pretensado: tipo de armado en el que los elementos de acero están tensados y comprimen el hormigón (armadura activa).
- e. Hormigones avanzados: están modificados con componentes diferentes a los convencionales para modificar sus propiedades, algunos son:
 - Hormigones aligerados.
 - Hormigones de alta resistencia (HAR).
 - Hormigón autocompactante (HAC).



3.3.3.b Ensayos Balísticos

Los ensayos realizados en hormigón son por lo general en hormigones armados HA 30 (hormigón armado de resistencia 30 N/mm²), puesto que son los generalmente utilizados en operaciones. Estos han sido probados frente a impactos de diferentes proyectiles tanto ordinarios como de artillería, obteniendo los diferentes niveles de blindaje en función de la munición empleada. La siguiente tabla muestra el nivel de protección para diferentes tipos de munición. En el caso de los proyectiles de artillería son al contacto directo, por otro lado la munición ordinaria es medida a 200 m [11].

Calibre en mm	7,62	12,70	20	73	82	105	120	155	210
Hormigón armado (espesores en m)	0,05	0,15	0,20	0,61	0,91	1,25	1,75	1,90	2,10

Tabla 4: Pruebas de resistencia del hormigón armado
Fuente: [12]

3.3.3.c Ventajas y desventajas

En rasgos generales el hormigón es un buen material para el blindaje frente a todo tipo de proyectiles.

Entre sus principales ventajas y desventajas que puedan afectarnos desde el punto de vista militar destacan:

Ventajas: Versatilidad, buena durabilidad, resistencia al fuego (400°C) y protección frente a radiación nuclear, materiales fáciles de encontrar, reparación y adaptación, no necesita calor para su fabricación, plasticidad y ductilidad y alta resistencia a la compresión.

Desventajas: baja resistencia a la tracción, fabricación en el terreno (puede afectar a sus propiedades) y tiempo de fraguado elevado.

Otra desventaja del hormigón es que frente a proyectiles de gran calibre es necesario un espesor considerable, lo que dificulta tanto su construcción como su puesta en obra en cuanto a torres de vigilancia se refiere, debido principalmente a que el volumen y peso de la estructura dificulta su transporte. Por eso se estudia el uso de hormigones de alta resistencia reforzados con fibras.

En cuanto a la reparación de los módulos tras sufrir un impacto estos pueden volverse a rellenar con hormigón si la rotura es pequeña. Si es grande es conveniente sustituirlo por otro módulo puesto que de rellenarlo perdería parte de su capacidad protectora.

Debido a las ventajas antes mencionadas han llevado al hormigón a erigirse en el material más utilizado, junto al acero, para la obtención de protecciones fijas frente a impacto y explosiones (barreras de protección de edificios, búnkeres, polvorines, etc.).

Por otro lado hay que puntualizar que el hormigón tiene un comportamiento mecánico muy variable dependiente de numerosos factores, tanto internos como externos: dosificación, contenido de agua, armaduras, tipo y contenido de fibras, edad del hormigón, humedad, etc. Por ello, datos obtenidos con un determinado hormigón no pueden ser trasladados sin más a otros hormigones, lo que en definitiva supone una dificultad para el proyectista de un blindaje de hormigón ante una amenaza concreta.

4. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

En la actualidad, las misiones que están desarrollando las Fuerzas Armadas Españolas, se encuentran comprendidas entre las que podríamos considerar de imposición y/o mantenimiento de la paz y normalmente se desarrollan en un entorno multinacional en zonas muy alejadas del territorio nacional en las cuales no se esperan cambios importantes en un futuro a corto y medio plazo.

Por otra parte, el enemigo al que se va a enfrentar España no será un estado soberano sino otro actor del escenario internacional, como movimientos terroristas, insurgentes o crimen organizado. Este enemigo empleará tácticas insurgentes y de guerra de guerrillas.

Una parte importante del análisis de riesgos que se realice para cada zona es la determinación de los riesgos posibles y de todos estos cuales son aquellos sobre los que debe actuarse para evitar su materialización. Se analiza también en qué condiciones y frente a qué riesgos se debe adoptar una actitud reactiva, y por último cuáles de los riesgos detectados son asumibles en las condiciones específicas de la operación [13].

La evaluación de la amenaza se traduce en los efectos destructores de las municiones en las infraestructuras. Este poder de destrucción varía según:

- La clase de munición empleada.
- Las características de los tiros.
- Los elementos de la infraestructura afectada (muro y cubierta) y su umbral de resistencia.

Además del tipo de munición empleada y las características del disparo hay que tener en cuenta otro tipo de amenazas a la hora de fabricar nuestras torres de vigilancia como pueden ser las amenazas naturales, las cuales pueden suponer un



desgaste, deterioro o incluso inutilización de nuestra torre. Consideramos amenazas naturales todas aquellas no debidas directamente a la acción del hombre, si bien en algunos casos pueden ser resultado de la misma (por ejemplo incendios). Esta categoría incluye, entre otros, los siguientes: Incendios, movimientos sísmicos, corrimientos de tierra, rayos, heladas, nevadas, granizadas e inundaciones. En nuestro caso al no tener un emplazamiento definido no hemos tenido en cuenta este tipo de amenazas. Por norma general el dimensionamiento y caracterización de nuestro material irán en función del tipo de amenaza del enemigo.

Es por esto que en función del tipo de agresión en la ZO se procederá a un estudio riguroso del posible armamento a utilizar por parte del enemigo para así en función de este, elegir el material más idóneo realizando los cálculos pertinentes para adecuar la protección, de forma que consigamos minimizar los efectos ante un posible ataque. [14].

4.1 Tipos de agresiones y efectos producidos en la infraestructura

Con el objetivo de simplificar la gran cantidad de munición existente en el mundo, se han definido cuatro tipos de agresión balística concretados en la siguiente tabla (ver **Tabla 5**), la cual ha sido sacada del manual del Ejército Francés *Uso y protección de edificios según los efectos de las armas* ya que el ET no dispone de una clasificación de tal tipo.

Tipo de agresión	Munición Correspondiente	Efectos en la infraestructura
A-1	Pequeño calibre: Armas individuales y colectivas hasta 12,70 mm bala ordinaria.	Perforación por el proyectil.
A-2	Medio calibre: Obuses de morteros y armas de tiro tenso de calibres entre 20 y 57 mm.	Perforación por el proyectil. + Onda expansiva.
A-3	Grueso calibre: Obuses de mortero o de Artillería C/PE ó C/Vehículo de calibres entre 60 y 120 mm, dotados con espoletas instantáneas o de proximidad así como cohetes de calibre entre 73 y 120 mm.	Onda expansiva. + Perforación por metralla.
A-4	Grueso calibre perforantes: Calibres 120 a 155 mm con espoleta de retardo.	Perforación por el proyectil. + Onda expansiva. + Metralla.

Tabla 5: Tipos de agresiones
Fuente: [15]

4.2 Partes afectadas en la infraestructura

Los efectos destructores de las municiones se aplican principalmente en la envolvente del edificio (muros de fachada y cubierta) [15].

Las posibilidades de ataque aquí seleccionadas están basadas en el empleo de los distintos tipos de munición existente, según la trayectoria a seguir por el proyectil (tiro tenso o primer sector, y tiro curvo o segundo sector).

1. Impacto en los muros de fachada para las agresiones tipo A-1, A-2 (calibres pequeño y mediano, cargas huecas).
2. Impacto en la cubierta para agresiones de tipo A-3 y A-4 y en las inmediaciones del edificio (municiones de mortero y de artillería).

Los elementos de la estructura afectados por estas agresiones están recogidos en la siguiente tabla (ver **Tabla 6**).

Tipos de agresión	Punto de Aplicación	
	Muros de fachada	Cubierta
A1	X	
A2	X	
A3	X (1)	X
A4	X(1)	X
(1)Explosiones a 10 m del muro		

Tabla 6: Partes afectadas en la estructura

Fuente: [15]

Muros

Son el blanco de las municiones lanzadas por las armas de tiro tenso (pequeño y mediano calibre, cargas huecas) y de la metralla debida a explosión de municiones de fragmentación.

Para una acción dada, se pueden clasificar los distintos tipos de muros según su poder de protección [15]:

Los **muros más resistentes** (muros llenos y macizos):

- M01 Hormigón armado (HA).
- M02: Láminas de acero.
- M03: Hormigón en masa.

Los **muros de resistencia media**:

- M04: Ladrillo macizo.
- M05: Bloque de hormigón relleno.
- M06: Hesco de tierra o grava.



Los **muros menos resistentes** (muros ligeros o constituidos por elementos huecos):

- M07: Ladrillo hueco.
- M08: Bloque de hormigón hueco.
- M09: Hormigón celular.

Cubierta

Hay que evaluar la resistencia de la cubierta según la capacidad de perforación de algunas armas especialmente a las que corresponden a las agresiones de tipo A2, A3 y A4 es decir, armas de tiro curvo. Por lo general la utilización de cubierta de hormigón armado/masa, o con placas de acero son las que ofrecen la mejor resistencia. Por el contrario, conviene evitar las cubiertas constituidas por tejas, placas de fibrocemento, hormigón celular madera o hescos como únicos componentes [15].

Las cubiertas vienen designadas por los siguientes códigos:

- C01: Hormigón celular
- C02: Hormigón armado
- C03: Hormigón en masa
- C04: Placas de acero
- C05: Madera

En cualquier caso, la protección contra las agresiones de los tipos A3 y A4 sea cual sea el nivel de blindaje impone no ocupar los últimos pisos (impacto sobre la cubierta) así como los locales situados en la fachada (impacto directo en la fachada). Esta medida se tomó tras la muerte del Cabo Francisco Soria Toledo al impactar un proyectil de artillería de 155 mm en la fachada de la torre de vigilancia [16] [1].

4.3 Caracterización de la amenaza

Antes de definir el material así como el nivel de blindaje a utilizar, hay que realizar un estudio detallado de las amenazas más comunes en ZO donde se va a desplegar. Para nuestro modelo acotaremos nuestro tipo de amenaza para armas de tiro tenso entre 5,56 a 12,7 mm y morteros de pequeño calibre hasta 81 mm.

La elección de este tipo de amenaza está basada en diferente tipo de documentación militar así como en las entrevistas con el personal de la base participante en las últimas misiones españolas como Afganistán, Líbano y Bosnia donde según ellos la principal amenazada provenía de armas de pequeño calibre fácilmente accesibles a la mayor parte de la población. Aunque bien es cierto que como hemos comentado anteriormente en algunos casos la utilización de otro tipo de armamento superior puede poner en riesgo al personal es prácticamente imposible

determinar el nivel exacto de hostilidad en un entorno asimétrico así como el blindaje para todo tipo de armamento [13], [14].

Para determinar la protección a usar frente a un tipo determinado de munición seguiremos los siguientes pasos:

- a. **Identificar** el tipo de agresión: para lo cual acudiremos a la **Tabla 5**. Para nuestro supuesto al definir armas de tiro tenso entre 5,56 y 12,7 mm, y morteros de pequeño calibre hasta 81mm, se trata de un nivel de agresión A1 y A3.
- b. **Determinaremos** los puntos sensibles a nuestro ataque: para lo cual iremos a la **Tabla 6**. En nuestro caso las partes sensibles de nuestra torre serán los muros debido a las armas de tiro tenso, y la cubierta debido al posible ataque con morteros.
- c. **Seleccionar** el material con el que vamos a construir nuestra torre de vigilancia.
- d. En función del tipo de material elegido para su implementación se deberá entrar en la tabla correspondiente a los espesores del material elegido y en base a ello **calcular** el espesor mínimo necesario para la protección.

5. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TORRES DE VIGILANCIA EN COP'S

5.1 Análisis de los datos recopilados

Para completar la información y determinar qué tipo de torre o con que materiales es más idónea su construcción, se realizó una encuesta al personal especializado en construcción de COP's. Las encuestas se pueden encontrar al final en el **Anexo C- Encuestas**.

En dicha encuesta, el tipo de preguntas estuvo basado en intentar averiguar una serie de puntos clave como son: nivel de protección (para qué tipo de munición fue construida), capacidad de reutilización, coste aproximado de materiales, tiempo de ejecución, personal y medios necesario para su implementación, facilidad de transporte, confortabilidad, mantenimiento etc.

Al parámetro de diseño por el que se preguntó en la encuesta le fue asignada una ponderación por el personal especializado en la construcción de torres de vigilancia, para posteriormente, mediante un análisis de toma de decisiones y el estudio de los distintos materiales, elegir la tipología de torre que mejor satisfaga nuestros requerimientos.



5.2 Selección de la tipología más adecuada

Para la toma de decisiones, utilizaremos un análisis multicriterio basado en el método *SCORING* el cual nos sirve para identificar de una manera fácil y sencilla la alternativa preferible en un problema de decisión multicriterio [17].

Las etapas del método son las siguientes:

1. Identificar la Meta General del Problema.
2. Identificar las alternativas.
3. Listar los criterios a emplear en la toma de decisiones.
4. Asignar una ponderación para cada uno de los criterios.
5. Establecer en cuanto satisface cada alternativa a nivel de cada uno de los criterios.
6. Calcular el *Score* para cada una de las alternativas.
7. Ordenar las alternativas en función del *Score* y elegir la alternativa de mayor puntuación.

5.2.1 Modelo para calcular el *Score*:

$$S_j = \sum_i w_i r_{ij}$$

Siendo;

r_{ji} = *rating* de la alternativa j en función del criterio i

w_i = ponderación para cada criterio i

S_j = *score* para la alternativa j

En nuestro caso:

1. Seleccionar la mejor torre.
2. Alternativas: Torre en base a Hescos, torre en base a bloques de hormigón, torre en base a módulos de hormigón y torre en base a contenedores prefabricados. Solo analizaremos este tipo de torres puesto que las de madera están prácticamente en desuso.
3. Criterios: facilidad en el transporte, fiabilidad de los materiales, seguridad frente a impactos, buen diseño para la vigilancia, buen diseño para la respuesta frente a ataques, bajo mantenimiento, rapidez en el montaje, sencillez de montaje, necesidad de pocas herramientas y maquinaria, uso de materiales locales, confort durante el uso, reciclaje del material y coste de la torre.

4. Asignación de una ponderación para cada criterio mediante el empleo de una escala de 5 puntos

1 = *Muy poco importante*

2 = *Poco importante*

3 = *Importancia media*

4 = *Algo importante*

5 = *Muy importante*

La ponderación será obtenida mediante la valoración que los capitanes han dado en cada pregunta. Para ello se realizará una media aritmética (ver **Anexo C-Encuestas**) y posteriormente una regla de tres para ajustar a la escala de 5 puntos antes determinada, es decir si por ejemplo en la facilidad de transporte, la suma es de 43, dividimos entre el número de encuestas para así obtener la media sobre 10 y posteriormente mediante una regla de tres, se lleva a la escala sobre 5 aproximando al número entero más cercano.

En cuanto al *rating* se aplicará un factor en base a los datos recopilados por las encuestas así como en las conclusiones obtenidas del estudio antes realizado tanto a los distintos tipos de materiales que conforman la torre de vigilancia como a estas.

Criterios	Ponderación
A: Facilidad en el transporte.	3
B: Fiabilidad de los materiales.	3
C: Seguridad frente a impactos.	5
D: Buen diseño para la vigilancia.	3
E: Buen diseño para la respuesta frente a ataques.	3
F: Bajo mantenimiento.	4
G: Rapidez en el montaje.	3
H: Sencillez de montaje.	3
I: Uso de pocas herramientas/maquinaria.	2
J: Uso de materiales locales.	3
K: Confort durante el uso.	2
L: Reciclaje del material.	4
M: Coste de la torre.	2

Tabla 7: Ponderación respecto a los criterios
Fuente: **[Elaboración propia]**



Criterios	Ponderación	T. Bloques de hormigón	T. Hescos	T. Contenedores	T. Módulos de hormigón
A	3	8	9	6	6
B	3	7	6	6	9
C	5	3	8	0	10
D	3	6	6	6	6
E	3	5	5	5	5
F	4	3	4	7	9
G	3	2	5	8	7
H	3	3	5	8	7
I	2	4	4	8	8
J	3	7	8	7	5
K	2	7	7	7	8
L	4	0	5	9	9
M	2	4	6	8	5
TOTAL	-	171	242	255	299

Tabla 8: Resultado del método de aplicación
Fuente: [Elaboración propia]

5.2.2 Conclusión

En base a los resultados obtenidos la torre que mejores resultados da frente a los criterios establecidos es la construida con **módulos de hormigón**.

Aunque las torres en base a Hescos y las torres en base a contenedores obtienen buenas puntuaciones en la mayoría de los parámetros, las altas ponderaciones dadas por los expertos a la **seguridad frente a impactos**, el **bajo mantenimiento y reciclaje del material** han propiciado que la torre en base a módulos de hormigón destaque sobre las demás en buena medida gracias a las ventajas antes mencionadas que presenta el hormigón. Es por ello que el material utilizado para la construcción de nuestra torre será el hormigón.

6. DESARROLLO DE LOS NUEVOS MÓDULOS ESTANDARIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TORRES DE VIGILANCIA EN COPs.

De todos los hormigones mencionados antes en el punto **3.3.3.a** debido a las capacidades técnicas en cuanto a blindaje de edificios se refiere, tomaremos el hormigón de alta resistencia reforzado con fibras de acero. La elección de este tipo de hormigón está basada en unos recientes estudios en los que se muestra que es el que mejores resultados ofrece en cuanto a impactos balísticos. Es por ello el seleccionado para nuestro estudio [18].

Para determinar el cálculo balístico y obtener el tipo de hormigón reforzado así como su espesor, es necesario estudiar tanto los fenómenos que se producen en el mismo, como la caracterización de los hormigones. El estudio de todos estos parámetros y datos se encuentra en el **Anexo D-Comportamiento y caracterización de los hormigones de alta resistencia reforzados con fibras**.

6.1 Cálculos balísticos

A la hora de realizar un estudio de protección balística, hay que tener en cuenta los diferentes tipos de impacto a los que está sometida la estructura. En nuestro caso la torre de vigilancia está sometida tanto a impactos de fuego directo como indirecto, es por esto que primero calcularemos la resistencia que ofrece frente a los impactos de tiro directo y después frente a los disparos de tiro indirecto. Las características de las diferentes municiones empeladas en el cálculo del espesor (12,7 mm y 81 mm) pueden verse en el **Anexo E-Características de los proyectiles empleados en los ensayos y cálculos**.

En la actualidad existen varias fórmulas empíricas para calcular la penetración de un proyectil (la de Petry, la del Cuerpo de Ingenieros del Ejército Norteamericano, la fórmula de UKAEA, fórmula de Kar, fórmula de Parodi etc.) [19] y con ello determinar el espesor necesario para la protección.

Sin embargo, todas estas fórmulas presentan unos inconvenientes para nuestro caso, como son [20]:

1. No se tienen en cuenta las propiedades del hormigón así como de los áridos utilizados.
2. No tiene en cuenta el efecto de la fricción del proyectil en el blanco así como la posible deformabilidad de este.
3. Las fórmulas existentes están principalmente basadas en datos de hormigones de resistencia normal, no está claro si se puede aplicar a hormigones de alta resistencia.



6.1.1. Cálculo balístico para amenazas tipo A1

Para el cálculo de proyectiles de tiro tenso sin efectos explosivos, se decidió utilizar la fórmula de modelado de Moreno Almansa (2001) la cual está basada en el principio de conservación de la energía [18], [20].

Esta hipótesis se considera válida suponiendo que la masa del proyectil se considera constante y no hay pérdida de esta durante su deformación. Al asumir esto la pérdida de energía cinética viene dada por la siguiente expresión:

$$\Delta E = \frac{1}{2} m (V_i^2 - V_f^2)$$

Siendo:

ΔE : Variación de la energía cinética.

m : Masa del proyectil.

V_i : Velocidad inicial del proyectil.

V_f : Velocidad final del proyectil.

Por otro lado el "factor de frenado" expresado mediante la letra K , viene a caracterizar de una forma muy aproximada a cada hormigón en función de su resistencia a la compresión y con un contenido de fibras determinado, como la resistencia al impacto del mismo frente a cada tipo de proyectil. Dicha expresión se puede calcular de una forma aproximada como:

$$K = \left(\frac{E_i - E_f}{e} \right) = \frac{\Delta E}{e}$$

Siendo:

e : Espesor del hormigón.

E_i : Energía cinética inicial.

E_f : Energía cinética final.

Considerando que la energía cinética de salida E_f como nula se puede obtener el valor de la K_{crit} con la que se puede determinar la profundidad de perforación:

$$t_{perf} \leq \frac{E_i}{K_{crit}}$$

Finalmente hay que calcular si el impacto del proyectil produce *scabbing*, para ello se calculará la profundidad límite de *scabbing*. Este se puede indicar como una función de la profundidad alcanzada por el proyectil en su penetración (X) y el espesor del blanco (e).

$$Scabbing = \frac{X}{e}$$

En base a los ensayos experimentales del HAR (Hormigón de Alta Resistencia) frente a impactos (los cuales fueron realizados por el Instituto Tecnológico la Marañosa, [18] se estimó que en aquellos con un contenido en fibras de **20 kg/m³** se producía scabbing en un **80 %** de los casos, mientras que para aquellos con un contenido de fibras de **40 kg/m³**, y **60 kg/m³** o superior se producía scabbing en un **85 %** y **90 %** de los casos respectivamente.

Para calcular el espesor necesario para la protección del personal frente a disparos de tiro tenso, partiremos de los datos experimentales realizados en el Polígono de Experiencias del Ejército (PEE). **Ver Anexo F-Ensayos balísticos: Apéndice 1.**

En nuestro caso para poder calcular el espesor necesario para detener un proyectil de 12,7 mm definido dentro de nuestra amenaza, tendremos que partir de un espesor el cual haya sido perforado previamente por dicho proyectil, y en base a este, calcular el nuevo espesor. Fijándonos en el **Anexo F-Ensayos balísticos: Apéndice 2** vemos que los espesores que no cumplen son los correspondientes a las placas HAR-10/20/1, HAR-10/40/1, HAR-10/60/1 (espesor/contenido en fibras/número de ensayo). En nuestro caso tomaremos para los cálculos la placa HAR-10/60/1 puesto que el número de fibras que contiene es el que más tarde se utilizará para diseñar nuestra placa.

Con los datos obtenido por las pruebas experimentales en el PEE, se observa que para perforar una placa HAR-10/60/1 el proyectil disparado de calibre 12,70 mm (cuya masa es **m = 41,783 g**), tiene una velocidad media de impacto **V_i = 869,00 m/s**, y una velocidad media de salida **V_f = 282,500 m/s**, (según las distintas tomas de datos realizadas) [18].

Suponiendo que la masa del proyectil prácticamente no varía durante la perforación, las energías cinéticas de entrada y salida serían respectivamente **E_i = 15,776 kJ** y **E_f = 1,667 kJ**. Por tanto, la energía absorbida por la placa será **ΔE = 14,109 kJ**, y el factor de frenado, o energía absorbida por centímetro de espesor del blanco: **K = ΔE/e = 14,109/10 = 1,410 kJ/cm**.

Así pues, en estas condiciones, el proyectil perforará una profundidad total de **t_{perf} = 15,776 kJ/1,410 kJ/cm = 11,181 cm**. Por lo que perforaría la placa de 10 cm. A priori una placa de 11,181 cm podría ser válida para este calibre, sin embargo hay que tener en cuenta que el *scabbing* se produce cuando la relación entre la profundidad a la que llega el proyectil y el espesor del blanco es de **x / e ≤ 0,90 %**, como se ha indicado con anterioridad, por lo que el espesor que deberá tener éste para que no se produzca *scabbing* será de **11,181/0,90 = 12,424 cm**. Luego si la placa tiene 12,424 cm o más de espesor no se perforará ni presentará *scabbing*.



6.1.2. Cálculo balístico para amenazas A2, A3

El fuego indirecto es normalmente producido por morteros y obuses, los cuales afectan a la estructura por la onda de choque y fragmentos causados por la explosión. La onda de choque creada por la explosión afecta principalmente a las paredes o techos lo que puede producir el colapso de la estructura, mientras que la fragmentación ocurre al desintegrarse el proyectil produciendo un conjunto de fragmentos de acero de gran velocidad que pueden perforar o quedar incrustados en el elemento de protección.

Para los proyectiles de fuego indirecto hay que considerar la posibilidad de impacto oblicuo, es decir, un impacto del proyectil diferente al de 90°, lo que obligaría a aumentar el espesor de protección siendo el caso más desfavorable según las pruebas realizadas por el ET el impacto de 75° [21]. Un diseño adecuado podría situar las superficies expuestas con el mayor ángulo posible en relación con la perpendicular para evitar así el impacto oblicuo y por otro lado, una estructura de baja silueta hace que la estructura sea más difícil de alcanzar por fuego directo.

Angulo	Efecto
De 0° a 45°	Rebote seguro
De 45° a 60°	Rebote posible pero no cierto
De 60° a 90°	Penetración sin rebote

Tabla 9: Efecto del proyectil en función del ángulo de impacto en hormigones

Fuente: [21]

Ante la falta de pruebas y ensayos frente a proyectiles de artillería en hormigones en masa de alta resistencia no podremos utilizar la fórmula previamente utilizada por lo que en su lugar utilizaremos la fórmula de Parodi, la cual pese a no ser una fórmula exacta por lo problemas antes mencionados puede darnos una idea aproximada del espesor necesario para nuestra agresión contra armas de fuego indirecto con efecto explosivo (morteros de 81 mm).

Donde: $P = EKA$ [21]

Siendo:

P: penetración en metros

$$E = \frac{p}{1000 c^2} \{ p = \text{peso del proyectil en kg y } c^2 = \text{calibre en m} \}$$

K: coeficiente que depende del medio (para hormigón en masa 0,88)

$$A = \log \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{V}{100} \right)^2 \right] \{ V : \text{velocidad del proyectil en m/s} \}$$

Además, al ser municiones de carácter explosivo hay que tener en cuenta el radio de espera que produce la explosión, el cual viene determinado por la siguiente fórmula:

$$R = \frac{7}{4} \sqrt[3]{\frac{C}{g}}$$

Siendo:

R: radio de espera de la explosión.

C: carga del proyectil en kg de TNT (trinitrotolueno).

g: coeficiente del medio (para hormigones en masa 3,6).

Con los datos del proyectil de 81 mm del **Anexo E-Características de los proyectiles empleados en los ensayos y cálculos**, calcularemos el espesor necesario para este tipo de amenaza.

En el caso del proyectil de 81 mm suponiendo el ángulo de impacto más desfavorable (75°) y con (**C = 0,675 kg, K = 0,88, p = 4,128 kg, c = 0,082 m, V = 234 m/s y g = 3,6**) sustituyendo en las respectivas fórmulas antes mencionadas, da un espesor de penetración de **P = 0,306 m** y un radio de **R = 0,227 m** lo que en conjunto hace un espesor total para la protección de **E = 0,533 m**.

6.1.3 Conclusiones

Tras el análisis podemos concluir que respecto a las armas de tiro tenso todos aquellos espesores superiores a 12,424 cm no serán perforados al impactar en ellas un proyectil de 12,7 mm o inferior. En nuestro caso nos hemos decantado para las paredes, por un espesor de 20 cm con un contenido en fibras de 60 kg/m³ la cual ofrece una protección adicional a nuestra torre frente a todo tipo de impactos de armas de tiro tenso hasta 12,7 mm. Paneles de dicho espesor son habituales y siguen siendo fáciles de manejar.

En el caso del techo tomando un espesor de 53,3 cm sería suficiente para aguantar un impacto de una granada de 81 mm sin embargo el aumento de espesor implica un aumento de peso, lo que dificultaría la modularización de la torre así como su manipulación, es por esto que en vez de tomar este espesor tomaremos un espesor de 20 cm al igual que en las fachadas y lo reforzaremos con Hescos 61 x 61 x 61 cm (MIL 5) en la parte superior de la cubierta, para hacer frente a los disparos de mortero no superiores a 81 mm.

No tomaremos espesores superiores al de 20 cm pese a ofrecernos un alto nivel de protección puesto que al aumentar el espesor de los muros aumenta de manera



considerable el peso de la estructura limitando mucho su transporte y manipulación con los medios con los que en la actualidad consta el ET.

Por otro lado tampoco tomaremos niveles superiores de fibras ya que a simple vista y aunque parezca que puede favorecernos una mayor adición, los métodos de dosificación de los hormigones son muy complejos como antes hemos comentado en el apartado **3.3.3. d** y ante la falta de estudios y pruebas no podemos asegurar que una mayor adición de fibras tenga repercusiones positivas en nuestro modelo.

6.2 Programa de necesidades. Diseño de la torre

Seleccionado el material y tipología de torres a usar, el diseño de la torre está basado también en las encuestas y las características de los materiales.

Para nuestro modelo optaremos por una torre de forma rectangular en base a módulos prefabricados de hormigón de alta resistencia reforzado con fibras apoyados sobre losa de hormigón.

Por otro lado la elección de esta forma es debida a que facilita la ejecución de estructuras modulares tanto por el tamaño de los módulos como por la sencillez de fabricación y montaje. Además es la que mejor se adapta a los requerimientos de otros materiales como los Hescos o sacos de arena, en el caso de que fuera preciso reforzar en la cubierta como ya se ha mencionado.

La torre constará de una estructura de dos plantas, siendo las medidas para cada una de ellas de 2,30 x 2,30 x 2,40 m. Dicha dimensión resulta de la combinación de superficies útiles y distancias libres interiores mínimas para un buen uso en combinación con la modularidad de los paneles, sus espesores y el sistema de unión, que se describirán a continuación.

El módulo superior estará destinado a la vigilancia y seguridad y el inferior para la protección de personal. La elección de estas medidas puesto que no hay ninguna normativa dentro del ET que establezca unas medidas tipo para este tipo de construcciones, están basadas por un lado en un intento de modularización de los elementos prefabricados intentando que sean lo más manejables y parecidos posible entre sí, facilitando así su transporte y manipulación y por otro en el CTE (Código Técnico de la Edificación) [22] con el objetivo de obtener un habitáculo donde el personal se encuentre cómodo y pueda moverse.

La planta baja estará destinada a que en el caso de ataque el personal pueda protegerse, ya que en muchos casos las torres de vigilancia no cuentan con un sistema de protección inmediata obligando al personal a desplazarse al bunker más próximo con el consiguiente riesgo de ser alcanzados. Así mismo contará con una puerta blindada cuyas características se muestran en el **Anexo G-Puerta Blindada**.

La planta primera contará con una única escalera situada en la parte interior. Los motivos de esta elección en vez de una escalera exterior son: por un lado que el personal durante los relevos quede sin exponer a la vista del enemigo, y por otro lado que en caso de ataque de morteros o artillería el personal pueda pasar de un habitáculo a otro rápidamente sin necesidad de salir al exterior. Así mismo, constará de tres ventanas blindadas de 60 x 40 cm. Con el objetivo de aumentar la protección del personal el hueco de las ventanas contará con un cristal de protección frente a impactos de proyectil 7,62 mm, denominado según los niveles de protección balísticos BR7 NS, cuyo espesor debe ser de 87 mm para evitar así los disparos de 7,62 mm de los posibles francotiradores [23], [24].

En cuanto a la escalera, al igual que las medidas del habitáculo estarán basadas en el CTE [22].

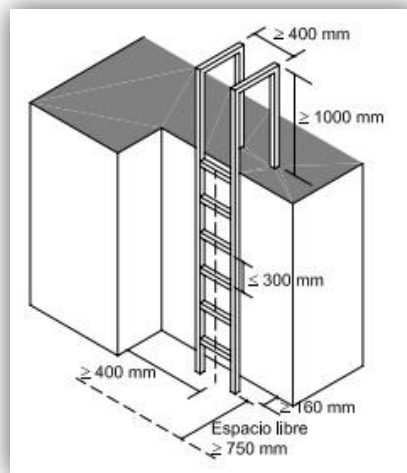


Ilustración 3: Medidas de la escalera interior
Fuente: [22]

El diseño final de la torre de vigilancia excluyendo la puerta y ventanas sería tal y como se muestra en la **Ilustración 4** (El diseño definitivo puede verse en el **Anexo I- Planos**).

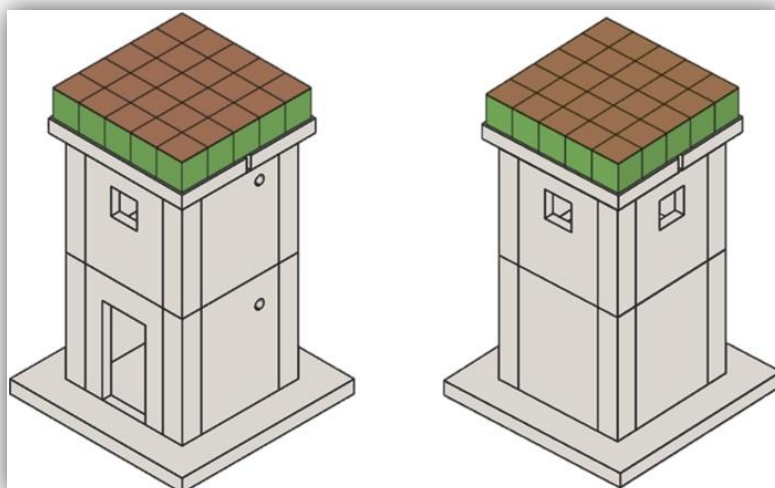


Ilustración 4: Torre de vigilancia
Fuente: [Elaboración propia]

6.3 Diseño de módulos estandarizados

En cuanto a la caracterización de los módulos, su diseño fundamental está basado principalmente en obtener un módulo de unas dimensiones lo más reducidas posibles con el objetivo de que sea fácilmente manipulable y transportable con los medios que cuenta el ET (ver **Anexo H-Medios de transporte del ET**).

Por otro lado también se ha intentado reducir al máximo tanto el número distinto de moldes entre sí como la simplicidad de estos. Así serán más económicos y el montaje y desmontaje será más fácil e intuitivo. Es por esto, que en total se crearon seis tipos diferentes de módulos (Esquina x 8, Pared con ventana x 3, Pared con puerta x 1, Pared maciza x 2, Pared para ventilación x 2, Cubierta x 2 y Piso intermedio x 2). El despiece de los elementos que componen la torre puede verse en el **Anexo I-Planos**.

La losa de hormigón armado de cimentación será el único elemento no estandarizado de la torre ya que se realizará in situ puesto que es un gasto innecesario de dinero y volumen de transporte. Tanto sus cálculos como su diseño se pueden ver en el **Anexo J-Losa de cimentación**.

En cuanto a las uniones de los distintos elementos estandarizados, tras pensar diversas posibilidades, finalmente se decidió tomar la opción **E** (ver **Ilustración 5**) la cual además de ofrecer un adecuado nivel de protección debido al solapamiento de los módulos entre sí, simplifica mucho la fabricación así como su ensamblaje. La unión diseñada puede consultarse en el **Anexo I-Planos**

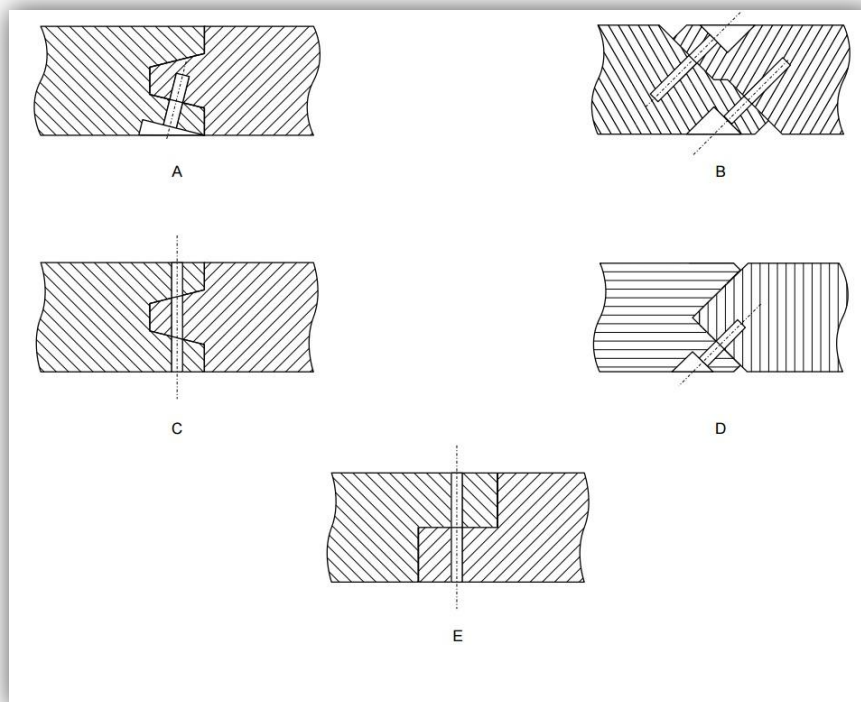


Ilustración5: Tipos de uniones

Fuente: [Elaboración Propia]

En cuanto a los sistemas de elevación de paneles, estos serán elevados mediante la utilización de eslingas (cubierta) y garras de elevación (fachadas y esquinas). Los detalles de los elementos de elevación se pueden ver en el **Anexo K-Sistemas de elevación**.

Por último, la unión entre de los distintos elementos se realizó mediante pernos capaces de resistir las tensiones provocadas por el impacto de un proyectil. Sus características se pueden ver en el **Anexo L-Sistemas de unión**.

7. PRESUPUESTO

En este apartado estudiaremos los diferentes componentes de la torre de vigilancia para hacer una estimación del coste. Este análisis resulta fundamental para poder estudiar la viabilidad del proyecto.

Al tratarse de un diseño de un proyecto el cual se desconoce el emplazamiento así como si se va a construir en territorio nacional (TN) o en ZO es muy complicado determinar con exactitud el presupuesto de este. En nuestro caso, el análisis de costes de fabricación de la torre ha sido realizado teniendo en cuenta que la torre se fabrica en territorio español para luego proyectarla a la ZO, sin incurrir en los costes de transporte ante la imposibilidad de concretar el lugar de donde se va a emplazar.



Tras efectuar el correspondiente análisis que se detalla más adelante en el **Anexo M: Análisis de costes** el coste total del proyecto ascenderá a un total aproximado de **12.763,93 €**.

8. CONCLUSIONES

Tras la realización de este TFG la principal conclusión que se obtiene es la gran dificultad existente en la creación de una torre de vigilancia estándar que valga para cualquier ambiente o enemigo teniendo que acotar su protección a la munición generalmente utilizada en esa zona. Esto es debido principalmente a la complejidad de los conflictos armados existentes en la actualidad así como la aparición y gran variedad de armamento, que han dificultado en gran medida la capacidad de defensa de nuestras Fuerzas Armadas en misiones internacionales.

La evolución de los conflictos armados, los cuales han desembocado en conflictos principalmente de tipo asimétricos ha dificultado la posibilidad de determinar con exactitud el nivel de amenaza al que se enfrentan las fuerzas desplegadas.

Aunque se realicen estudios someros sobre el tipo de enemigo y armamento empleado por este, siempre existirá la posibilidad por mínima que sea de que el enemigo utilice un tipo de armamento que sobrepase la capacidad de defensa propuesta.

Por otro lado la falta de ensayos balísticos con distintos tipos de armamento en sí, así como ensayos con distintos tipo de materiales surgidos en los últimos años dificulta en gran medida el cálculo de la protección necesaria.

Con este trabajo se ha pretendido dar algo de luz al tema de las fortificaciones en torres de vigilancia consiguiendo por lo menos dilucidar la tipología y material más adecuado, así como un procedimiento de cálculo a seguir en cada escenario.

Por otro lado la creación de nuevos módulos estandarizados, diseño de torre, así como las uniones entre sus elementos, permiten su utilización en todo tipo de escenarios así como su fácil montaje y desmontaje para una posible reutilización. Únicamente habrá que calcular el espesor adecuado en función del nivel de amenaza, el cual vendrá a cargo del ingeniero jefe encargado de los trabajos de protección de la base.

Finalmente gracias a la realización de este proyecto se ha podido comprobar la gran complejidad existente para un ingeniero del ET a la hora de proyectar obras de protección debido a la gran cantidad de factores y situaciones cambiantes e inciertas que hay que tener en cuenta.

8.1 Posibles líneas futuras

Las posibles líneas futuras de la mejora de las torres de vigilancia en cuanto a protección se refieren, están íntimamente ligadas al avance tecnológico de los materiales de construcción así como a los ensayos realizados en estos.

De todos estos materiales el que más avances presenta en cuanto a la protección de infraestructuras militares es al acero. Aunque este tipo de blindajes lleva varios años implantándose en el mundo militar como es en el caso de carros de combate submarinos aviones etc. su uso en plataformas militares como es el caso de torres de vigilancia o garitas no está del todo popularizado.

Entre sus principales características está su elevada maleabilidad lo que permite la fabricación de todo tipo de formas sin perder sus propiedades frente a impactos, además de presentar la gran ventaja de ser fácilmente soldable y trabajable.

Recientemente, se están desarrollando nuevas generaciones de aceros de blindaje para hacer frente a las crecientes amenazas de proyectiles de energía cinética. Así se tienen aceros HHA (high hardness armors) y aceros denominados UHH (ultra high hardness). Estos aceros, de última generación, compiten con materiales cerámicos avanzados, para la producción de blindajes *add-on* muy efectivos contra la mayoría de proyectiles tanto ordinarios como de artillería los cuales deberían tenerse en cuenta para futuras investigaciones en la creación de torres de vigilancia en base a estos materiales [25].



BIBLIOGRAFÍA

[1] Cortes Generales. (14 de Abril de 2015). *Diario de Sesiones de la Comisión de Defensa*. Recuperado el 15 de Enero de 2017, de Diario de Sesiones de la Comisión de Defensa:

http://www.congreso.es/public_oficiales/L10/CONG/DS/CO/DSCD-10-CO-784.PDF

[2] Ministerio de Defensa. (2012). *Manual. Criterios operativos posición avanzada de combate*. Madrid.

[3] Elías, J. (10 de Junio de 2014). *Desarrollo y Defensa: Sistema HESCO Bastion*. Recuperado el 15 de Enero de 2017, de Desarrollo y Defensa: Sistema HESCO Bastion:

<http://desarrolloydefensa.blogspot.com.es/2014/06/sistema-hesco-bastion.html>

[4] TI SECURITY. (s.f.). *Hesco Bastion Case Study, Access Control*. Recuperado el 12 de Febrero de 2017, de Hesco Bastion Case Study, Access Control:

<https://www.tisecurity.co.uk/news/case-study-hesco-bastion>

[5] Hesco. (s.f.). *MIL Units - Earth Filled Concertainer | HESCO*. Recuperado el 14 de 1 de 2017, de MIL Units - Earth Filled Concertainer | HESCO:

<http://www.hesco.com/products/defensive-barriers/mil/>

[6] TFL DEFENCE. *Engineers Handbook Hesco Bastion Force Protection*. London.

[7] RPEI 12. (MAYO-2012). *Cuaderno Fichas obra tipo - Protección de la Fuerza*. Zaragoza: MING.

[8] Instituto del Cemento Portland Argentino. (1975). *Construcción con Bloques de Hormigón de Cemento Portland*. Recuperado el 1 de Enero de 2017:

http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-08-31_07-14-36109068.pdf

[9] Ministère de la Défense. (10/09/2010). *Mémento de sauvegarde protection en opération*. Paris.

[10] Norma Bloc. (s.f.). Recuperado el 4 de Febrero de 2017, de:

<http://www.normabloc.org/Ventajas-de-los-bloques.424.0.html>

[11] Catalá, E. A. (9 de 10 de 2011). *Tipos de hormigón para la Edificación. Hormigones Especiales*. Recuperado el 14 de 1 de 2017, de Tipos de hormigón para la Edificación. Hormigones Especiales:

<http://www.enriquealario.com/tipos-de-hormigon/>

[12] Ejército de Tierra. *Prontuarios de Ingenieros*. Salamanca.

[13] Base Defence (2007). *Tactics, Techniques and procedures*. Kansas. EEUU

[14] DIDOM. (Junio de 2009). Documento. Sistemas de protección de zonas sensibles. Madrid, Madrid, España.

[15] Ejército Francés. (2013). *Manual. Uso y protección de edificios según los efectos de las armas*. París.

[16] Ministerio de Defensa. (15 de 4 de 2015). Documento. Estudio teórico sobre las medidas físicas de protección pasiva frente a ataques de fuego indirecto por morteros pesados. Madrid, Madrid, España.

[17] ANÁLISIS MULTICRITERIO EN LA TOMA DE DECISIONES. (2005). Recuperado el 15 de Enero de 2017, de ANALISIS MULTICRITERIO EN LA TOMA DE DECISIONES:

<http://www.ccee.edu.uy/ensenian/catmetad/material/MdA-Scoring-AHP.pdf>

[18] Gaitán Rodríguez, V. H. (2013). Estudio del comportamiento del hormigón de alta resistencia reforzado con fibras frente al impacto de proyectiles. Madrid, Madrid:

http://oa.upm.es/22120/1/Vidal_Gaitan_Rodriguez.pdf

[19] X.W.Chen, Q. a. (s.f). *Penetration into concrete targets by a hard projectile*. Recuperado el 22 de Enero de 2017, de Penetration into concrete targets by a hard projectile:

<https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/SU02/SU02009FU.pdf>

[20] Hernando y Cánovas. (2011). *Behavior of steel fiber high strength concrete under impact of projectiles*. Madrid.

http://www.civ.utoronto.ca/vector/journal_publications/jp88.pdf

[21] Mando de adiestramiento y doctrina (Ministerio de Defensa). (2005). *Manual. Organización del terreno para el combate de las grandes unidades*. Madrid.

[22] Ministerio de Fomento. (30 de Junio de 2016). *Código Técnico de la Edificación*. Recuperado el 27 de Octubre de 2016, de Código Técnico de la Edificación:

<http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadUtilizacion/DccSUA.pdf>

[23] SAINT-GOBAIN. (s.f). *Manual de acristalamiento de seguridad*. Recuperado el 22 de Enero de 2017, de Manuela de acristalamiento de seguridad:

<http://www.cristaleriapadronesa.com/Descargas/manual.pdf>

[24] Protekt. (s.f). *VIDRIO ANTI-BALA: Resistencia Balística*. Recuperado el 22 de Enero de 2017, de VIDRIO ANTI-BALA: Resistencia Balística:

http://www.protekt.com.mx/vidrio_blindado_anti_bala.pdf



[25] Galvez, V. S. (Octubre de 2012). *Materiales para la Defensa*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2016, de Materiales para la Defensa:

<http://catedraisdefe.etsit.upm.es/wp-content/uploads/2012/11/Cuaderno-10-Materiales-para-la-defensa.pdf>

[26] 1ª Sección de Zapadores UZAP ASPFOR XXVII. (2011). *Lecciones Aprendidas*. Ejército de Tierra.

[27] Ramírez, Capitán. (5 de Mayo de 2015). Torre de vigilancia (Líbano).

[28] Construmatica. (s.f). *Hormigón de Alta Resistencia | Construpedia, enciclopedia construcción*. Recuperado el 22 de Enero de 2017, de Hormigón de Alta Resistencia:

[http://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n de Alta Resistencia](http://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n%20de%20Alta%20Resistencia)

[29] TECKENTRUP. (s.f). *TECKENTRUP/ PUERTAS BLINDADAS*. Recuperado el 4 de Febrero de 2017 de:

[http://es.teckentrup.biz/fileadmin/user_upload/teckentrup/Produkte/Spanisch/Tueren/Sicherheit/Technische Daten/ES_dw64-1_FB4.pdf](http://es.teckentrup.biz/fileadmin/user_upload/teckentrup/Produkte/Spanisch/Tueren/Sicherheit/Technische_Daten/ES_dw64-1_FB4.pdf)

[30] Antonov company. (s.f). *AN-124-100 Ruslan - Antonov*. Recuperado el 2017 de Enero de 29, de:

<http://www.antonov.com/aircraft/transport-aircraft/an-124-100-ruslan>

[31] Ministerio de Defensa. (s.f). *Ministerio de Defensa de España-Ejercito del Aire*. Recuperado el 29 de Enero del 2017 de:

<http://www.defensa.gob.es/fuerzasarmadas/ea/>

[32] Ministerio de Defensa. (s.f). *Armada Española - Ministerio de Defensa*. Recuperado el 2017 de Enero de 29, de:

http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/_inicio_home/prefLang_es/

[33] Ministerio de Defensa. (s.f). *Ministerio de Defensa de España - Ejército de Tierra*. Recuperado el 29 de Enero de 2017, de:

<http://www.defensa.gob.es/fuerzasarmadas/et/>

[34] Ministerio de Fomento. (2003). *Guía de cimentaciones en obras de carretera*. Madrid.

[35] Lerga, J. A. (25 de Septiembre de 2015). *Tesicnor*. Recuperado el 26 de Febrero de 2017, de Tesicnor:

<http://prevencioneolico.tesicnor.com/elevacion-mecanica-de-cargas-simetria-numero-de-ramales-activos-y-angulos/>

[36] Cintatex. (s.f.). *Cintatex*. Recuperado el 26 de Febrero de 2017, de Cintatex:

<http://cintatex.es/3-eslinga-plana-2000kg.html>

[37] Iberica. (s.f.). *CMCO-Iberica*. Recuperado el 2 de Marzo de 2017, de CMCO-Iberica:

<http://www.cmiberica.com/documentos/ficha-tecnicas/Garra%20TAG.pdf>

[38] FORCH. (s.f.). *Tornillo cabeza hexagonal DIN 931 8.8, zincado - FÖRCH España*. Recuperado el 4 de Marzo de 2017, de Tornillo cabeza hexagonal DIN 931 8.8, zincado - FÖRCH España:

<http://www.foerch.es/product.aspx?p=ad70b2d5-cf09-4ef7-b617-0044cafaea6e&g=a4dc3e69-d515-4c13-9a75-c7beb3c331a5>

[39] FORCH. (s.f.). *Tuerca hexagonal DIN 934-8, zincada - FÖRCH España*. Recuperado el 4 de Marzo de 2017, de Tuerca hexagonal DIN 934-8, zincada - FÖRCH España:

<http://www.foerch.es/product.aspx?p=35f07fc8-c992-4a0c-afb3-fbccbc8b251c&g=49eab944-49a6-4a0e-ab64-7360cf5a3a45>

[40] FORCH. (s.f.). *Arandela DIN 125 Forma B, zincado - FÖRCH España*. Recuperado el 4 de Marzo de 2017, de Arandela DIN 125 Forma B, zincado - FÖRCH España:

<http://www.foerch.es/product.aspx?p=aa0b78c9-dea8-4362-bb50-a6efe0b65957&g=bb5226d5-643a-41e8-88d9-6607c47cfb46>

[41] *Tornillería - Desa*. (s.f.). Recuperado el 4 de Marzo de 2017, de Tornillería - Desa:

<http://desa.es/anclajes-de-gran-expansion>

[42] FCEIA. (s.f.). *Tipificacion de aceros 2016.pdf - FCEIA*. Recuperado el 4 de Marzo de 2017, de Tipificacion de aceros 2016.pdf - FCEIA:

<http://www.fceia.unr.edu.ar/~fermar/Presentaciones%202016/10%20Tipificacion%20de%20aceros%202016.pdf>

[43] Ingemecánica. (s.f.). *Perfiles de Acero - ingemecánica*. Recuperado el 4 de Marzo de 2017, de Perfiles de Acero - ingemecánica:

<http://ingemecanica.com/tutoriales/prontuariodeperfiles.html#conforl>



ANEXOS

[PÁGINA INTENCIONADAMENTE EN BLANCO]



ANEXO A-ESTUDIO DE LAS PRINCIPALES TORRES DE VIGILANCIA CONSTRUIDAS POR EL ET.

1. Torre de vigilancia de Hesco Bastion con cubierta de metal y Hesco

Por lo general son el tipo de de torres de vigilancia que se suele realizar en las COPs. En este caso se trata de una torre de vigilancia construida en a base de Hescos Bastion y cubierta de metal cubierta de hescos de dimensiones 5,77 x 4,36 x 4,36 m. El personal necesario para su implementación es un pelotón de zapadores. Por otra lado los medios necesarios para su implementación son: Retroexcavadora (JCB 3CX / minimáquina), picos, palas, azadas, cordeles y eslingas. El material empleado en la construcción has sido sacado del [7]: 84 celdas de Hesco modelo MIL 1, 24 celdas de Hesco modelo MIL2, una lámina plástica de 100 m² para impermeabilizar el techo, 12 viguetas metálicas, y 9 viguetas de madera.

La duración exacta de la obra es difícil de determinar puesto que depende de numerosos factores como la instrucción del personal, la climatología, medios disponibles, etc. El tiempo aproximado de montaje es de 17 horas repartidas en: 1 hora de preparación del terreno, 8 horas de la construcción de Hesco, 2 horas para la construcción de escaleras, 4 horas para la estructura metálica y 2 horas para el acopio de tierras en la cubierta.

A continuación se muestra el volumen, pesos y precio de este modelo de torre.

El **volumen y peso de obra** son:

- Peso total 346 t.
- Peso de la cubierta 10.000 kg.
- Peso de la estructura y la sustentación: 336 t.
- Volumen de transporte: 5,30 x 1,30 x 1,50 m.

El **coste económico** de la estructura es:

- 12 viguetas metálicas 248 €/Ud: 2.976,00 € IVA Incluido.
- 9 viguetas de madera 130,00 € IVA Inclu.
- 48 Hescos MIL 1 (10 Módulos): 9.000 € IVA Incluido.
- 24 Hescos MIL 2 (12 Módulos): 3.000 € IVA Incluido.
- **Total: 15.106 € IVA Incluido**

La principal ventaja de este tipo de construcción es su alto grado de modularización, permitiendo un fácil transporte hasta la ZO ya que los Hescos apenas ocupan volumen plegados. Son relativamente económicas de construir, y brinda un

nivel de protección medio/alto en ataques con armas de pequeño calibre (5,56 a 12,7 mm) en ataque frontal.

Por otro lado presentan una gran deficiencia en ataques con mortero y otras armas de tiro curvo debido al bajo nivel de protección que presenta la cubierta. Además la imposibilidad de instalar ventanas blindadas deja muy vulnerable al personal al ataque de tiradores de precisión y otras amenazas.

Se necesita un grado medio/alto de instrucción para el relleno de hescos para conseguir que estos tengan el rendimiento deseado ante los ataques.

Finalmente, aunque este tipo de estructura está pensada para ser reutilizable, la mayoría de los hescos no se podrán reutilizar de nuevo debido a la deformación de estos ante el peso de la estructura.



Ilustración 6: Torre de vigilancia de hescos y cubierta de metal y hescos
Fuente: [7]



Ilustración 7: Torre de vigilancia de hescos y cubierta de metal y hescos
Fuente: [7]



2. Torre de vigilancia construida con contenedores

En este caso se trata de tipo de torre en dos alturas en base a contenedores prefabricados de chapa galvanizada de dimensiones 2,50 x 2,50 x 2,20 m sobre losa de cimentación. El personal necesario para su implementación es un pelotón de zapadores, aunque para el montaje de los contenedores con 4 personas valdría. Los medios necesarios para su implementación sería únicamente una grúa hidráulica para el levantamiento de dichos contenedores.

Por otro lado el material necesario para su implementación sería únicamente el necesario para la construcción de una losa de cimentación (cemento, grava, y barras de acero corrugado para la construcción del mallazo). La duración de la obra dependerá fundamentalmente de lo que tarde en fraguar la losa, que como mínimo será una semana, teniendo en cuenta que no alcanzará su resistencia máxima. El montaje en sí de los contenedores no son más que minutos, si se transportan ya montados desde la base. Si no se traen montados el tiempo podrá oscilar la hora de trabajo.

El precio de los contenedores dependerá del tamaño así como de la empresa que lo suministre. Pero puede oscilar según la empresa Balat entre 4.000 y 7.000 € en función del tamaño y forma.

La principal ventaja de este tipo de torres es sin duda su fácil transporte debido a su bajo peso y su escaso volumen ya que los módulos pueden desmontarse por completo para ganar espacio de carga. Otras ventajas importantes son la gran velocidad de montaje que tiene así como el poco personal y medios que se necesita para su implementación. Finalmente este tipo de garita permite la posibilidad de ser utilizada en otras misiones.

Sin embargo, la principal desventaja que presenta este tipo de torre es el escaso blindaje que ofrece frente a todo tipo de impacto lo que obliga a reforzar mediante sacos terreros o Hesco Bastion, haciendo en sí que en verdad el tiempo de construcción y el presupuesto sean mayores.



Ilustración 8: Torre de vigilancia en base a contenedores
Fuente: [26]

3. Torre de vigilancia de madera con refuerzo de Hesco Bastion.

Este tipo de torres están construidas en base a listones de madera pre dimensionados de 3,60 x 1,60 x 1,60 m. El personal necesario para su instalación es también un pelotón de zapadores. Los medios necesarios para su construcción son el propio personal sin ayuda externa.

En cuanto a los materiales está formada por [7]:

- Pilares de madera de 400 x 20 x 20 cm.
- Vigas de madera de 220 x 10 x 10 cm.
- 1 viga de madera de 10 x 10 x 10 cm.
- Tableros de madera de 100 x 10 x 10 cm.
- 20 tableros de madera de 220 x 10 x 25 cm.
- Tableros de madera de 280 x 10 x 25 cm.
- 3 tableros de madera de 220 x 10 x 25 cm.
- Coronas dentadas de unión de 15 cm de diámetro.
- 24 pernos roscados.
- 10 Hescos MIL 1.
- 12 Hescos MIL 6.



El tiempo necesario de construcción dependerá del mismo tipo de factores que la realizada en base a hescos por lo que es complicado estimar, rondará entre las 6-7 horas de trabajo. Así mismo el precio aproximado de la obra estará en torno 8.000-10.000 €.

La ventaja que tiene este tipo de construcción es que los materiales se pueden obtener rápidamente en la ZO evitando así el transporte de estos desde territorio nacional. Al estar los listones atornillados permite su reutilización.

En cuanto a las desventajas, al igual que ocurre en la construida con contenedores es que ofrece una protección muy limitada para todo tipo de proyectiles por lo que es necesaria la implementación de hescos y sacos para aumentar su protección. Además que al carecer de ventanas de protección el personal queda muy expuesto. Hay que decir que este tipo de torres está prácticamente en desuso debido a la escasa protección que ofrece.



Ilustración 9: Torre de vigilancia de madera con refuerzo de Hesco Bastion
Fuente: [7]

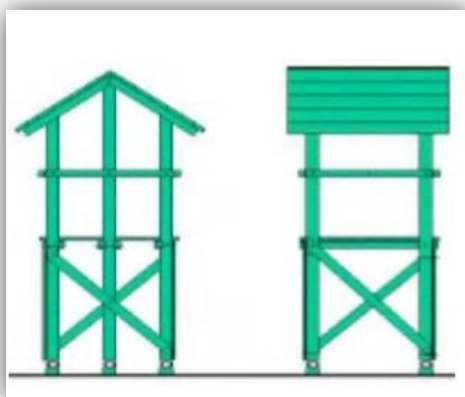


Ilustración 10: Torre de madera con refuerzo de Hesco Bastion (Dibujo)
Fuente: [7]

4. Torre de vigilancia en base a módulos de hormigón.

Este tipo de torre es cada vez más utilizada debido a su alto grado de protección y su facilidad de construcción. El personal necesario para su montaje sería un pelotón de zapadores.

El precio de los módulos variará según el país así como el tipo y cantidad de hormigón utilizado pero podrá oscilar en los 2.000 a 3.000 € el módulo.

El tiempo de ejecución sin contar el fraguado de su losa de cimentación oscilará entre 1 y 2 horas.

En cuanto los medios necesarios para su montaje únicamente sería necesaria una grúa hidráulica de gran capacidad de carga debido al gran peso que puede llegar a tener cada módulo.

Los materiales al igual que en la garita prefabricada serán los necesarios para la construcción de una losa de hormigón armado ya que los módulos de hormigón se realizan por encargo a una empresa civil y se transportan directamente a la COP, bien por medios de transporte civiles o por medio de camiones del ET (camión IVECO M250) y plataformas VEMPAR. El precio de este tipo de torre varía en función del tipo de cemento, que depende del tipo de aditivos, áridos utilizados, el nivel de control de proceso etc. Por todo ello es complejo calcular un coste aproximado.

La principal ventaja de este tipo de construcción es su alto grado de protección que ofrece en los 360° tanto para munición de pequeño calibre (5,56 a 12,7 mm) como para lanzagranadas de pequeño calibre. El nivel de protección lo determinará el tipo de hormigón con que se haya fabricado así como el espesor de este. Otro *input* positivo es la gran modularidad que posee pudiendo montarse y desmontarse en cuestión de minutos.

El punto débil de esta construcción es el gran volumen y peso de transporte necesario para llevar este tipo de módulos desde territorio nacional hasta ZO. Por lo general los módulos de hormigón hasta la fecha fabricados son de una única pieza, lo que imposibilita su desmontaje en módulos menores ocupando así una gran cantidad de volumen de carga para el transporte. Es por esto que hasta ahora el encargo de estos módulos se ha realizado en ZO. Sin embargo dependiendo del nivel de desarrollo de este puede ser que el nivel de control de calidad no sea el adecuado haciendo que el hormigón no cumpla con todos los requerimientos necesarios para la protección calculada.



Ilustración 11: Torre en base a módulos de hormigón
Fuente: [27]



Ilustración 12: Torre en base a módulos de hormigón
Fuente: [27]

5. Torres en base a bloques de hormigón.

Este tipo de torre está construida en base a bloques de hormigón huecos rellenos generalmente de cemento u otro tipo de material, por lo general arena o grava.

Para la puesta en obra de este tipo de estructura es necesario un pelotón de zapadores. Los materiales necesarios para la construcción son bloques de hormigón generalmente de 20 x 20 x 40 cm. En cuanto a los medios necesarios para su construcción serían todo el material necesario de albañilería para el encofrado de pilares y la unión de los bloques (paleta de albañil, llana, palas, picos, cubetas, rasqueta, madera para encofrado etc.).

El precio dependerá, del número de bloques utilizados así como la cantidad de cemento usado para la unión. Para hacernos una idea cada bloque de 20 x 20 x 40 cm

en España según la empresa Erios cuesta 0,77 €. El precio aproximado de la estructura en el caso de la torre de la imagen la cual fue construida en el Líbano fue de aproximadamente de 10.000 €.

El tiempo de ejecución de la obra es por lo general alto debido a la gran dificultad que requiere este tipo de construcción así como por el tiempo de secado y fraguado de los materiales. El tiempo de construcción oscilará en torno a las 48-72 horas.

La ventaja fundamental de esta torre de vigilancia es la facilidad de obtención del material accesible prácticamente en todos los países del mundo. Además su reducido tamaño y su escaso peso le dan una gran facilidad de transporte y manipulación.

Ofrece un grado de protección relativamente aceptable frente ataques de fusilería y armas de tiro tenso dando una protección completa al soldado en los 360°. Por otro lado no ofrece gran protección frente ataques de obuses y morteros de medio y gran calibre haciendo que haya que reforzarlo con sacos terreros o hescos en la cubierta principalmente.



Ilustración 13: Torre en base a bloques de hormigón
Fuente: [27]



Ilustración 14: Torre en base a bloques de hormigón
Fuente: [27]



ANEXO B-PROTECCIÓN MEDIANTE HESCO BASTION

Amenazas	Tipo y tamaño de la estructura de Hesco requerida																Observaciones
	MIL 1 (1,37x1,06x10)		MIL 2/5/6 (0,61x0,61x1,22) (0,61x0,61x3,05) (1,68x0,61x3,05)		MIL 3 (1x1x10)		MIL 4 (1x1,52x10)		MIL 7 (2,21x2,13x 27,74)		MIL 8 (1,37x1,22x10)		MIL 9 (1x0,76x9,14)		MIL 10 (2,21x1,52x30,05)		Altura x Ancho x Longitud
	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	
Armas portátiles:																	Desde 5,56 mm a 14,5 mm
Tiro a Tiro	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Ráfaga	1	2	2	4	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	
RPG-7	1	2	2	3	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	
Granadas	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	
Morteros (hasta 81 mm)	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	
Artillería y morteros (a partir de 81 mm)	2	2	3	3	2	2	2	2	1	1	2	2	3	3	2	2	
Bombas de aviación	3	3	6	6	4	4	3	3	2	2	3	3	5	5	3	3	

Nota: 1-Buen relleno: B

2-Mal relleno: M

3-Esta tabla indica el espesor en número de células de HESCOs para dar una protección a la amenaza indicada

ANEXO C-ENCUESTAS

El siguiente anexo muestra diferentes encuestas realizadas el personal especializado en construcción de torres de vigilancia. Hay que aclarar que el personal especializado en este tipo de construcciones es escaso y se encuentra descentralizado, por lo que es complicado encontrar un mayor número de encuestas para tener resultados más exactos. La ficha técnica así como algunos datos de las encuestas se puede ver en la **Tabla 10**.y en la **Ilustración 15** e **Ilustración 16**.

Tipo de investigación	Cuantitativa/cualitativa.
Objeto evaluado	Torres de vigilancia.
Ámbito de aplicación	ET
Población	Se realizaron 10 encuestas, de las cuales solo 7 fueron devueltas.
Población objeto	Oficiales del ET que hayan realizado o participado en la construcción de torres de vigilancia en operaciones.
Técnica de recopilación de encuestas	7 vía e-mail y 3 entrevistas personales
Error muestral	Calculado a partir de la desviación estándar.
Fechas de campo	25/SEP/2016 al 13/NOV/2016

Tabla 10: Ficha técnica de las encuestas
Fuente: [[Elaboración propia](#)]



Encuestados	Facilidad de transporte	Fiabilidad de los materiales	Seguridad frente a impactos	Buen diseño para la vigilancia	Buen diseño para la respuesta frente a ataques	Bajo mantenimiento
Capitán 1	6,00	6,00	10,00	6,00	7,00	6,00
Capitán 2	6,00	5,00	9,00	7,00	8,00	7,00
Capitán 3	5,00	7,00	9,00	8,00	6,00	7,00
Capitán 4	7,00	7,00	10,00	6,00	7,00	8,00
Capitán 5	7,00	7,00	9,00	7,00	6,00	8,00
Capitán 6	6,00	5,00	10,00	7,00	6,00	6,00
Capitán 7	6,00	6,00	10,00	6,00	7,00	7,00
Desviación estándar	0,69	0,90	0,53	0,76	0,76	0,82
Media (sobre 7 encuestas)	6,14	6,14	9,57	6,71	6,71	7,00
Mediana	6,00	6,00	10,00	7,00	7,00	7,00
Ajuste (sobre 5)	3,07	3,07	4,78	3,35	3,35	3,5
Redondeo	3,00	3,00	5,00	3,00	3,00	4,00

Ilustración 15: Datos estadísticos de las encuestas

Fuente: [Elaboración propia], [Excel]

Encuestados	Rapidez en el montaje	Sencillez de montaje	Necesidad de pocas herramientas y maquinaria	Uso de materiales locales	Confort durante el uso	Reciclaje del material	Coste de la torre
Capitán 1	6,00	6,00	5,00	4,00	5,00	8,00	3,00
Capitán 2	7,00	5,00	4,00	6,00	6,00	8,00	4,00
Capitán 3	5,00	6,00	4,00	6,00	4,00	8,00	3,00
Capitán 4	5,00	6,00	3,00	4,00	5,00	8,00	3,00
Capitán 5	7,00	5,00	5,00	6,00	4,00	7,00	2,00
Capitán 6	6,00	6,00	3,00	5,00	5,00	6,00	4,00
Capitán 7	6,00	6,00	5,00	8,00	4,00	7,00	4,00
Desviación estándar	0,82	0,49	0,90	1,40	0,76	0,79	0,76
Media (sobre 7 encuestas)	6,00	5,71	4,14	5,57	4,71	7,43	3,29
Mediana	6,00	6,00	4,00	6,00	5,00	8,00	3,00
Ajuste (sobre 5)	3,00	2,85	2,07	2,78	2,35	3,71	1,64
Redondeo	3,00	3,00	2,00	3,00	2,00	4,00	2,00

Ilustración 16: Datos estadísticos de las encuestas

Fuente: [Elaboración propia], [Excel]

Encuesta 1

Encuesta para la posible mejora de las garitas en las COP

El objetivo de la encuesta es el estudio y mejora de las posibles garitas que hay en el ejército de tierra.

1ª ¿Con qué tipo de garita/s ha trabajado? (Garita UNIFIL (HESCOS), Garita en base a contenedores, Garitas de hormigón), si ha trabajado con alguna otra diga cuál.

Hormigón armado, madera, gaviones Hesco Bastion, contenedores.

2ª ¿Qué material empleó para la construcción de la garita?

Áridos de distinta gradación, geotextil, cemento, agua, alambre de atar, barras de acero corrugado, bridas de plástico, madera, vigas metálicas, malla metálica, sacos terreros, chapa metálica ondulada, placas de encofrado perdido, láminas de polietileno (plástico).

3ª ¿Qué medios dispuso para su transporte, montaje y mantenimiento?

El orgánico de mi unidad: manipulador telescópico, retro pala cargadora (JCB 3CX), camiones de carga general, camiones volquete y lotes de herramientas de montaje y construcción.

4ª ¿Sabría decir un coste aproximado de la construcción de esta?

No es posible determinar un precio fijo, solamente en territorio nacional para uso dentro de España. Podría oscilar entre 2.300 € hasta el infinito (depende de las dimensiones de la garita y su grado de protección).

5ª ¿Dónde consiguió el material para su construcción? (Si el material se obtuvo en zona de operación díganos si tuvo dificultades para su obtención y si es así cuales fueron)

Material obtenido en zona de operaciones (ZO) sin ninguna complicación. El material fue obtenido por explotación local con la suficiente antelación. En cualquier caso, cuando se planea que hubiera complicaciones, se deben anticipar mediante el almacenamiento de material de clase IV como nivel de la operación, el cual normalmente se depositará en lo que se denomina Parque de Ingenieros.

6ª ¿Dónde desarrolló los trabajos de construcción?

En Afganistán.

7ª ¿Tuvo dificultades para su construcción debido a las características del terreno? (si es así diga cual)

Ninguna.



8ª ¿Para qué tipo de enemigo/ambiente táctico fue construida?

Enemigo asimétrico. Empleo probable de RPG-7 y mortero de 81 mm.

9ª ¿Cuánto personal/maquinaria fue necesario para la construcción de la garita?

12 militares, y la maquinaria que se cita al inicio de la encuesta.

10ª ¿Cuánto tiempo fue necesario para la construcción de la garita?

3 días la de hescos.

11ª ¿Cuál fue la mayor dificultad en su construcción?

Conseguir que durante el llenado de los gaviones, éstos no se deformasen y mantuvieran la forma deseada para evitar asentamientos posteriores de toda la estructura, lo cual revierte en la durabilidad de la obra.

12ª ¿Durante toda su vida útil fue sometida algún proceso de reparación?

Algún hesco con el tiempo se deterioraba y había que remplazarse.

13ª ¿Para qué tipo de munición fue construida la garita?

RPG-7 y mortero 81 mm y por lo consiguiente municiones de pequeño calibre.

14ª Tras el desmontaje de la garita. ¿Sería posible la reutilización de los materiales para las construcción de otra?

Sí, pero siempre habrá material que no se pueda recuperar porque haya cogido vicios durante su vida útil (deformaciones, deterioros).

15ª En cuanto a la confortabilidad. ¿Qué deficiencias tiene este tipo de garita y que implementaría en ella para la mejora de esta?

Hay que tener en cuenta que la fortificación en campaña no es cómoda por idiosincrasia, para ello existen los turnos a la hora de hacer los servicios. Con que el combatiente este protegido de lluvia y viento es suficiente.

16ª En cuanto a la protección. ¿Qué puntos débiles tiene la garita frente al tiro directo e indirecto?

Sin duda alguna la cubierta; no ofrece toda la protección necesaria para las armas de tiro indirecto.

17ª ¿Qué aspectos de la protección mejoraría en cuanto a diseño o materiales?

Hay garitas hechas de fábrica. Problema: el coste y la proyección a ZO.

<http://www.drehtainer.com/uploads/media/wehrtechnik-engl-low.pdf>

[Hay material que permiten menores dimensiones y más protección: fibra de vidrio
http://defensetechs.com/?portfolios=ballistics-6](http://defensetechs.com/?portfolios=ballistics-6)

18ª Aportación personal. En base a las garitas que ha construido díganos con qué aportaciones personales le gustaría que contara la garita respecto a cualquier ámbito. (Sistemas de vigilancia, protección, transporte, confortabilidad etc.).

La garita debe permite efectuar fuego desde ella y tener visibilidad sobre la zona que se bate, por tanto debe estar provista de troneras lo suficientemente dimensionadas para permitir ambas acciones.

Por favor, valore del 0 (menos importante) al 10 (más importante) los aspectos siguientes que debe cumplir la garita:

Facilidad en el transporte (6)

Fiabilidad de los materiales (6)

Seguridad frente a impactos (10) (fuego directo, fragmentos y onda expansiva de una explosión)

Buen diseño para la vigilancia (6)

Buen diseño para la respuesta frente a ataques (7)

Bajo mantenimiento (6)

Rapidez en el montaje (6)

Sencillez de montaje (6)

Necesidad de pocas herramientas y maquinaria (5)

Uso de materiales locales (4)

Confort durante el uso (5)

Reciclaje del material (8)

Coste de la torre (3)



Encuesta 2

Encuesta para la posible mejora de las garitas en las COP

El objetivo de la encuesta es el estudio y mejora de las posibles garitas que hay en el ejército de tierra.

1ª ¿Con qué tipo de garita/s ha trabajado? (Garita UNIFIL (HESCOS), Garita en base a contenedores, Garitas de hormigón), si ha trabajado con alguna otra diga cuál.

Bloques de hormigón, módulos de hormigón

2ª ¿Qué material empleó para la construcción de la garita?

Cemento, bloques de hormigón de 20 x 20 x 40 cm, sacos terreros, viguetas, barras corrugadas.

3ª ¿Qué medios dispuso para su transporte, montaje y mantenimiento?

Minimáquina cargadora, hormigonera pequeña, camión para el transporte.

4ª ¿Sabría decir un coste aproximado de la construcción de esta?

No es posible determinar con exactitud el precio fijo.

5ª ¿Dónde consiguió el material para su construcción? (Si el material se obtuvo en zona de operación díganos si tuvo dificultades para su obtención y si es así cuales fueron)

Se consiguió todo en ZO. No se tuvo ninguna dificultad, ya que era material fácil de obtener.

6ª ¿Dónde desarrolló los trabajos de construcción?

Líbano.

7ª ¿Tuvo dificultades para su construcción debido a las características del terreno? (si es así diga cual)

Ninguna.

8ª ¿Para qué tipo de enemigo/ambiente táctico fue construida?

No había un criterio ni estudio definido al respecto.

9ª ¿Cuánto personal/maquinaria fue necesario para la construcción de la garita?

Los tajos se realizaron por pelotones que es la unidad mínima de trabajo de los ZP.

10ª ¿Cuánto tiempo fue necesario para la construcción de la garita?

3 Semanas en cuanto a la de bloques de hormigón, la de módulos de hormigón fue cuestión de horas (3-4 horas).

11ª ¿Cuál fue la mayor dificultad en su construcción?

La colocación precisa de los bloques de hormigón.

12ª ¿Durante toda su vida útil fue sometida algún proceso de reparación?

Ninguna.

13ª ¿Para qué tipo de munición fue construida la garita?

Como dije antes en el apartado anterior no había ningún estudio que certificase la protección que soportaba la garita. En teoría debería aguantar proyectiles del 5,56 mm y 7, 62 mm.

14ª Tras el desmontaje de la garita. ¿Sería posible la reutilización de los materiales para las construcción de otra?

La de módulos de hormigón sí, además que se desmonta en cuestión de minutos. La de bloques al estar fijo al terreno imposibilita su recuperación.

15ª En cuanto a la confortabilidad. ¿Qué deficiencias tiene este tipo de garita y que implementaría en ella para la mejora de esta?

La principal deficiencia es el espacio ya que no hay ninguna norma acerca del espacio que tenga que tener una garita.

16ª En cuanto a la protección. ¿Qué puntos débiles tiene la garita frente al tiro directo e indirecto?

La cubierta y la puerta.

17ª ¿Qué aspectos de la protección mejoraría en cuanto a diseño o materiales?

Las formas de los módulos de hormigón serían más útiles si fuera cuadrada ya que en caso de un refuerzo de hescos estos se acoplan mejor a la forma.

18ª Aportación personal. En base a las garitas que ha construido díganos con qué aportaciones personales le gustaría que contara la garita respecto a cualquier ámbito. (Sistemas de vigilancia, protección, transporte, confortabilidad etc.)

No es competencia de los ingenieros el tipo de sistemas de vigilancia con los que cuente la torre de vigilancia. Le corresponde al jefe de seguridad de la base dotarle de los medios.

Pero si tuviera que elegir un tipo de garita elegiría la de módulo de hormigón puesto que es la que mejores resultados da en cuanto a facilidad de montaje y protección.



Por favor, valore del 0 (menos importante) al 10 (más importante) los aspectos siguientes que debe cumplir la garita:

- Facilidad en el transporte (6)
- Fiabilidad de los materiales (5)
- Seguridad frente a impactos (9)
- Buen diseño para la vigilancia (7)
- Buen diseño para la respuesta frente a ataques (8)
- Bajo mantenimiento (7)
- Rapidez en el montaje (7)
- Sencillez de montaje (5)
- Necesidad de pocas herramientas y maquinaria (4)
- Uso de materiales locales (6)
- Confort durante el uso (6)
- Reciclaje del material (8)
- Coste de la torre (4)

Encuesta 3

Encuesta para la posible mejora de las garitas en las COP

El objetivo de la encuesta es el estudio y mejora de las posibles garitas que hay en el ejército de tierra.

1ª ¿Con qué tipo de garita/s ha trabajado? (Garita UNIFIL (HESCOS), Garita en base a contenedores, Garitas de hormigón), si ha trabajado con alguna otra diga cuál.

Garita UNIFIL de vigilancia metálica y de hormigón, garitas de Hesco y sacos con estructuras metálicas y de madera para cubiertas.

2ª ¿Qué material empleó para la construcción de la garita?

Perfilaría metálica, madera, gaviones modulares, sacos terreros y elementos prefabricados, tanto metálicos como de hormigón.

3ª ¿Qué medios dispuso para su transporte, montaje y mantenimiento?

Según los casos, transporte en medios militares (VEMPAR fundamentalmente) o góndolas civiles (garitas UNIFIL); montaje a mano con apoyo de mini máquinas y retro palas, o montaje con grúa y cestas elevadoras; manipulador telescópico en algunos casos.

4ª ¿Sabría decir un coste aproximado de la construcción de esta?

Muy variable, dependiendo del diseño y de la Z.O. Las prefabricadas de hormigón de UNIFIL creo recordar que rondaban los sesenta mil dólares.

5ª ¿Dónde consiguió el material para su construcción? (Si el material se obtuvo en zona de operación díganos si tuvo dificultades para su obtención y si es así cuales fueron)

En Afganistán, casi todo por explotación local. En el Líbano, casi todo por corriente logística de UNIFIL. Las únicas pegas, en el caso de Afganistán eran los plazos de entrega por las dificultades de paso de los convoyes en algunas zonas y la calidad de algunos materiales. En el caso del Líbano, la problemática eran los plazos de aprobación del gasto y la rigidez de los procedimientos burocráticos de ONU.

6ª ¿Dónde desarrolló los trabajos de construcción?

FSB y campamento para Batallón electoral, en Qala i Naw (Afganistán) y posiciones españolas de UNIFIL en el Líbano.

7ª ¿Tuvo dificultades para su construcción debido a las características del terreno? (si es así diga cual)

En Afganistán, debido a lo arcilloso del terreno y el gran peso de las garitas, debido a los áridos de relleno fundamentalmente, se daban problemas de estabilidad que obligaban a hacer cajeados y enterrar parte del primer hesco, apoyándolo además en



una base de grava para facilitar el drenaje inferior. También aquí, la falta de áridos de buena calidad obligaba a rellenar los gaviones con el material existente “in situ”, lo que a la larga requería trabajos de mantenimiento por el hinchamiento de las arcillas.

En el caso del Líbano, a parte de algún caso de inestabilidad por hundimiento del terreno debido a la proximidad de fuertes pendientes, no hubo problemas.

8ª ¿Para qué tipo de enemigo/ambiente táctico fue construida?

En el caso de Afganistán: enemigo asimétrico, amenaza alta, armas ligeras, tanto fusilería como lanzagranadas/lanzacohetes portátiles, suicidas a pie y en vehículo, con menor probabilidad fuegos por el segundo sector, principalmente morteros.

En el caso del Líbano, no te puedo contestar.

9ª ¿Cuánto personal/maquinaria fue necesario para la construcción de la garita?

En casi todos los casos, un pelotón con apoyo de una retro pala y/o una mini máquina. En el caso de las prefabricadas de UNIFIL, además requerían apoyo de hormigoneras para la cimentación, grúa y cesta elevadora.

10ª ¿Cuánto tiempo fue necesario para la construcción de la garita?

2 días generalmente. Las prefabricas de hormigón, contando con los tiempos de fraguado de la cimentación, una semana.

11ª ¿Cuál fue la mayor dificultad en su construcción?

En el caso de los gaviones, asegurar su correcto llenado por tongadas bien compactas evitando la deformación de los materiales y manteniendo la verticalidad de la estructura. Por lo demás, ninguna dificultad.

12ª ¿Durante toda su vida útil fue sometida algún proceso de reparación?

En el caso de los gaviones, mantenimiento periódico debido a la mala calidad de los áridos empleados (ya contestado más arriba).

13ª ¿Para qué tipo de munición fue construida la garita?

Respondido en la pregunta 8.

14ª Tras el desmontaje de la garita. ¿Sería posible la reutilización de los materiales para las construcción de otra?

En general sí, pero requiere el desmontaje y vaciado a mano de los áridos.

15ª En cuanto a la confortabilidad. ¿Qué deficiencias tiene este tipo de garita y que implementaría en ella para la mejora de esta?

En el caso de las garitas de gaviones, apenas hay protección frente al viento y el aislamiento térmico es nulo (más allá de la cubierta que proporciona sombra, no hay

nada). El introducir cerramientos que protejan de los elementos o que aíslen, implicaría limitar las capacidades de respuesta del personal que las ocupa.

16ª En cuanto a la protección. ¿Qué puntos débiles tiene la garita frente al tiro directo e indirecto?

Las de gaviones, el punto débil son las zonas que no están protegidas para permitir la observación y el tiro, y los accesos, que no siempre pueden estar a cubierto.

En el caso de las de UNIFIL, representan un blanco muy fácil de identificar, pero es que su finalidad no es el enmascaramiento, sino lo contrario. Las demás vulnerabilidades no las puedo responder.

17ª ¿Qué aspectos de la protección mejoraría en cuanto a diseño o materiales?

Diseñar, probar e instaurar una malla reglamentaria de retención de granadas y cohetes de pequeño calibre, que colocada por delante de las garitas impidan el impacto de éstos.

18ª Aportación personal. En base a las garitas que ha construido díganos con que aportaciones personales le gustaría que contara la garita respecto a cualquier ámbito. (Sistemas de vigilancia, protección, transporte, confortabilidad etc.).

Lo referido en la pregunta 16.

Por favor, valore del 0 (menos importante) al 10 (más importante) los aspectos siguientes que debe cumplir la garita:

Facilidad en el transporte (5)

Fiabilidad de los materiales (7)

Seguridad frente a impactos (9)

Buen diseño para la vigilancia (8)

Buen diseño para la respuesta frente a ataques (6)

Bajo mantenimiento (7)

Rapidez en el montaje (5)

Sencillez de montaje (6)

Necesidad de pocas herramientas y maquinaria (4)

Uso de materiales locales (6)

Confort durante el uso (4)

Reciclaje del material (8)

Coste de la torre (3)



Encuesta 4

Encuesta para la posible mejora de las garitas en las COP

El objetivo de la encuesta es el estudio y mejora de las posibles garitas que hay en el ejército de tierra.

1ª ¿Con qué tipo de garita/s ha trabajado? (Garita UNIFIL (HESCOS), Garita en base a contenedores, Garitas de hormigón), si ha trabajado con alguna otra diga cuál.

Garita de hescos, cubierta de madera con sacos terreros, garita de bloques de hormigón prefabricados, garitas de módulos de hormigón.

2ª ¿Qué material empleó para la construcción de la garita?

Madera, sacos terreros, gaviones, bloques de hormigón, módulos de hormigón.

3ª ¿Qué medios dispuso para su transporte, montaje y mantenimiento?

Medios militares (VEMPAR) y camiones civiles. El montaje se realizó a mano con ayuda de mini máquinas, y retroexcavadoras. En el caso de los módulos de hormigón fue necesario el empleo de grúa.

4ª ¿Sabría decir un coste aproximado de la construcción de esta?

Muy difícil saber su coste pues que varía mucho en función de si se obtiene en ZO o en la TN.

5ª ¿Dónde consiguió el material para su construcción? (Si el material se obtuvo en zona de operación díganos si tuvo dificultades para su obtención y si es así cuáles fueron)

ZO (Zona de operaciones).

6ª ¿Dónde desarrolló los trabajos de construcción?

Líbano.

7ª ¿Tuvo dificultades para su construcción debido a las características del terreno? (si es así diga cuál)

El suelo era algo irregular por lo que se tuvo que allanar.

8ª ¿Para qué tipo de enemigo/ambiente táctico fue construida?

Enemigo asimétrico con armamento ligero.

9ª ¿Cuánto personal/maquinaria fue necesario para la construcción de la garita?

Por lo general se suele trabajar en grupos de 6 a 10 personas.

10ª ¿Cuánto tiempo fue necesario para la construcción de la garita?

Es difícil de precisar depende del tipo de garita.

11ª ¿Cuál fue la mayor dificultad en su construcción?

En el caso de la garita de bloques de hormigón el encofrado de los pilares.

En la de madera el nivelado perfecto de los listones.

En la de módulos de hormigón no hay prácticamente ninguna dificultad.

En la de hescos el perfecto relleno de estos.

12ª ¿Durante toda su vida útil fue sometida algún proceso de reparación?

Lo desconozco.

13ª ¿Para qué tipo de munición fue construida la garita?

Armamento ligero sin especificar cuál.

14ª Tras el desmontaje de la garita. ¿Sería posible la reutilización de los materiales para las construcción de otra?

Solo sería posible en el caso de los módulos de hormigón. La de madera podría reutilizarse únicamente los listones de madera.

15ª En cuanto a la confortabilidad. ¿Qué deficiencias tiene este tipo de garita y que implementaría en ella para la mejora de esta?

No es necesario que sea excesivamente cómoda ya que para eso están los turnos.

16ª En cuanto a la protección. ¿Qué puntos débiles tiene la garita frente al tiro directo e indirecto?

La principal desventaja que ofrecen es por la cubierta y ventanas. Ya que en muchos casos carecen de ventanas de protección y la cubierta es demasiado débil ante los proyectiles de tiro indirecto.

17ª ¿Qué aspectos de la protección mejoraría en cuanto a diseño o materiales?

La utilización de materiales más resistentes.

18ª Aportación personal. En base a las garitas que ha construido díganos con qué aportaciones personales le gustaría que contara la garita respecto a cualquier ámbito. (Sistemas de vigilancia, protección, transporte, confortabilidad etc.).

(Sin contestar).

Por favor, valore del 0 (menos importante) al 10 (más importante) los aspectos siguientes que debe cumplir la garita:

Facilidad en el transporte (7)

Fiabilidad de los materiales (7)

Seguridad frente a impactos (10)

Buen diseño para la vigilancia (6)



Buen diseño para la respuesta frente a ataques (7)

Bajo mantenimiento (8)

Rapidez en el montaje (5)

Sencillez de montaje (6)

Necesidad de pocas herramientas y maquinaria (3)

Uso de materiales locales (4)

Confort durante el uso (5)

Reciclaje del material (8)

Coste de la torre (3)

Encuesta 5

Encuesta para la posible mejora de las garitas en las COP

El objetivo de la encuesta es el estudio y mejora de las posibles garitas que hay en el ejército de tierra.

1ª ¿Con qué tipo de garita/s ha trabajado? (Garita UNIFIL (HESCOS), Garita en base a contenedores, Garitas de hormigón), si ha trabajado con alguna otra diga cuál.

He trabajado con garitas en base a HESCOS (Líbano) y en base a contenedores (Afganistán).

2ª ¿Qué material empleó para la construcción de la garita?

Me centro en la garita en base a contenedores porque en base a HESCO entiendo que ya hay suficiente información.

La garita en base a contenedores se compone de una losa de hormigón sobre la que se colocan dos prefabricados de chapa (tipo contenedor de dimensiones variables en función de la necesidad, en nuestro caso 1,80 x 1, 80 m aprox), uno encima de otro para darle altura.

3ª ¿Qué medios dispuso para su transporte, montaje y mantenimiento?

Transporte: Al ser dos prefabricados iguales que se montan uno sobre otro, no presentan mucho problema a la hora del transporte. Se transportaron en plataformas civiles. En función del tamaño de las plataformas disponibles se podía transportar sólo un prefabricado (es decir, media garita) o dos prefabricados (garita entera).

Montaje: Se necesita una grúa para poder mover los prefabricados.

Mantenimiento: Es necesario disponer de algún elemento que permita el acceso al exterior en el prefabricado superior. La realidad es que se usaba el cazo de una mixta (sin atender mucho a PRL) para hacer el mantenimiento que fuese necesario

4ª ¿Sabría decir un coste aproximado de la construcción de esta?

El precio varía en función de la localización creo recordar que estuvo entre 4.000 y 7.000 €.

5ª ¿Dónde consiguió el material para su construcción? (Si el material se obtuvo en zona de operación díganos si tuvo dificultades para su obtención y si es así cuales fueron)

Se obtuvo en ZO en su totalidad. No hubo ninguna dificultad para la obtención del material. Se le dieron a la empresa las medidas y características de los prefabricados y ellos los confeccionaron a nuestro gusto. A destacar, eso sí, que la calidad y robustez de la chapa no eran las más idóneas.



6ª ¿Dónde desarrolló los trabajos de construcción?

En la COP Hernán Cortés (Darra i Bum - Afganistán). Se encargó de la construcción personal civil contratado para ello, los zapadores no participamos en ningún momento en la construcción de la garita.

7ª ¿Tuvo dificultades para su construcción debido a las características del terreno? (si es así diga cual)

Ninguna. El terreno se preparó para albergar la COP por lo que la losa de hormigón sobre la que se colocó la garita se ejecutó sin ningún tipo de dificultad. De igual manera, la colocación de los prefabricados tampoco presentó ningún problema.

8ª ¿Para qué tipo de enemigo/ambiente táctico fue construida?

Ambiente táctico con amenaza muy alta. Enemigo asimétrico dotado con fusil, ametralladora y RPG. La garita no se diseñó con la idea de responder a hostigamientos sobre ella ya que su protección no era completa frente a tales amenazas. Una vez iniciados los hostigamientos se ocupaban las diferentes posiciones de tiro y el centinela finalizaba su labor de observación desde la garita.

9ª ¿Cuánto personal/maquinaria fue necesario para la construcción de la garita?

Un equipo de 4 PAX en cada una y una grúa.

10ª ¿Cuánto tiempo fue necesario para la construcción de la garita?

4 días contando el tiempo de ejecución de la losa de cimentación, la torre en si fueron horas.

11ª ¿Cuál fue la mayor dificultad en su construcción?

La soldadura entre la parte superior y la inferior. Sin ser un gran problema, sí fue algo más laborioso.

12ª ¿Durante toda su vida útil fue sometida algún proceso de reparación?

No dio tiempo, ya que estuvo en servicio algo menos de un año.

13ª ¿Para qué tipo de munición fue construida la garita?

La garita por sí sola no presenta protección alguna. Había que completarla con sacos terreros para poder tener protección frente a 5,56 mm.

14ª Tras el desmontaje de la garita. ¿Sería posible la reutilización de los materiales para las construcción de otra?

Siempre y cuando no estuviese dañada por algún tipo de impacto sí es posible reutilizar el material.

15ª En cuanto a la confortabilidad. ¿Qué deficiencias tiene este tipo de garita y que implementaría en ella para la mejora de esta?

Es una garita muy sensible a la temperatura exterior. Si hace frío, dentro se nota mucho más y si hace calor también.

16ª En cuanto a la protección. ¿Qué puntos débiles tiene la garita frente al tiro directo e indirecto?

Como ya he mencionado anteriormente sólo presenta protección frente a 5,56 gracias a los sacos terreros instalados para ello. La parte inferior de la garita no presenta ninguna vulnerabilidad ya que está protegida por los HESCOS del perímetro de la propia COP. Es la parte superior la que sobresale y la que se encuentra más expuesta.

17ª ¿Qué aspectos de la protección mejoraría en cuanto a diseño o materiales?

Si se modifica para aumentarle la protección, dejaría de tener las características para las que fue diseñada: Rápida instalación (se construyó en un sitio totalmente expuesto, con hostigamientos diarios y la rapidez era una prioridad), fácil transporte, fácil sustitución de alguna de sus partes en caso de ser dañadas, vida útil de 1 año o menos (la COP se construyó para estar activa ese tiempo), etc. Si se aumenta la protección añadiendo algún otro material ya no cumpliría los requisitos anteriores. Desde mi punto de vista el balance protección-eficacia es adecuado.

18ª Aportación personal. En base a las garitas que ha construido díganos con qué aportaciones personales le gustaría que contara la garita respecto a cualquier ámbito. (Sistemas de vigilancia, protección, transporte, confortabilidad etc.).

Por favor, valore del 0 (menos importante) al 10 (más importante) los aspectos siguientes que debe cumplir la garita:

Depende de la zona y el fin con el que se vayan a construir. Si va a tener un carácter permanente, si va a ser por un período corto de tiempo, depende de la amenaza etc. Voy a puntuar el caso de la garita que se construyó en la COP:

- 1 año o menos de vida útil
- Malas condiciones del terreno para el transporte y muchos kilómetros para el abastecimiento
- Alta amenaza de ataques durante la construcción

Facilidad en el transporte: (7)

Fiabilidad de los materiales: (7)

Seguridad frente a impactos: (9)

Buen diseño para la vigilancia: (7)

Buen diseño para la respuesta frente a ataques: (6)



Bajo mantenimiento: (8)

Rapidez en el montaje: (7)

Sencillez de montaje: (5)

Necesidad de pocas herramientas y maquinaria: (5)

Uso de materiales locales: (6)

Confort durante el uso: (4)

Reciclaje del material: (7)

Coste de la torre: (2)

Encuesta 6

Encuesta para la posible mejora de las garitas en las COP

El objetivo de la encuesta es el estudio y mejora de las posibles garitas que hay en el ejército de tierra.

1ª ¿Con qué tipo de garita/s ha trabajado? (Garita UNIFIL (HESCOs), Garita en base a contenedores, Garitas de hormigón), si ha trabajado con alguna otra diga cuál.

He trabajado fundamentalmente HESCO, aunque también con madera, perfiles metálicos, hormigón y contenedores.

El resto de la encuesta la voy a enfocar a los trabajos que he realizado en Afganistán (ASPFOR XXIX en base a HESCO y madera; construcción de OP,s en la ruta OPAL), porque creo que pueden ser lo más representativo.

2ª ¿Qué material empleó para la construcción de la garita?

HESCO MIL 10 y madera.

3ª ¿Qué medios dispuso para su transporte, montaje y mantenimiento?

El acopio en del material en la zona de trabajos lo hizo personal afgano. El montaje del OP completo lo realizamos mi equipo de mando y yo con el material del lote de sección y dos motosierras y material de carpintería adicional.

4ª ¿Sabría decir un coste aproximado de la construcción de esta?

No sabría decirte, el presupuesto completo no venía desglosado por partidas y englobaba todo (trabajos de máquinas, 4 garitas, asentamientos de vehículos, material de aporte, refugio etc.

5ª ¿Dónde consiguió el material para su construcción? (Si el material se obtuvo en zona de operación díganos si tuvo dificultades para su obtención y si es así cuales fueron)

Todo el material se adquirió en zona. El principal problema vino con la madera, las medidas no coincidían en todas las piezas y la calidad a simple vista no era la idónea (pilares revirados, con grieta etc.).

El HESCO que nos iban a suministrar era el chino. Como me enteré días antes solicité que me lo cambiarán por el original y tuve suerte.

6ª ¿Dónde desarrolló los trabajos de construcción?

Ruta OPAL a unos 6 km de la COP HC (Darrah e Bum), Afganistán.



7ª ¿Tuvo dificultades para su construcción debido a las características del terreno? (si es así diga cual)

Tuve dificultades con la orografía. Las pendientes eran muy verticales y el espacio en lo que sería el emplazamiento del OP era escaso.

Por otro lado, el primer día tuve que realizar movimiento de tierras para tener una zona a cubierto de fuego donde vivaquear, dado que quedábamos muy expuestos.

Todo ello, implicó bastante trabajo de máquinas los primeros días.

8ª ¿Para qué tipo de enemigo/ambiente táctico fue construida?

Lucha C-IED y enemigo asimétrico. Aunque en la zona se habían dado ataques enemigos a OP, s de hasta entidad Sección (-).

9ª ¿Cuánto personal/maquinaria fue necesario para la construcción de la garita?

Jefe de Sección y 3 Zapadores + Retroexcavadora.

10ª ¿Cuánto tiempo fue necesario para la construcción de la garita?

Lo que eran las garitas, las montamos en un par de días. Aunque unido a otros trabajos de OP.

11ª ¿Cuál fue la mayor dificultad en su construcción?

Escaso personal para demasiada obra y teniendo en cuenta el terreno. Subir módulos de HESCO MIL 10 por una pendiente de casi un 50% a mano entre cuatro.

La climatología y la pendiente del terreno impedían a las máquinas subir a trabajar.

12ª ¿Durante toda su vida útil fue sometida algún proceso de reparación?

A día de hoy que yo sepa no.

13ª ¿Para qué tipo de munición fue construida la garita?

Según prontuario de Ingenieros y Manual de fortificación francés: "Mémento de sauvegarde.

Protection en opération" ÉCOLE DU GÉNIE 2010: Proporciona protección frente a munición de hasta 12,70 mm a 600 m y Obús de 155 mm a 3 m.

Eran 4 garitas iguales: 1 LAG40, 2 AMM y 1 FUSA.

14ª Tras el desmontaje de la garita. ¿Sería posible la reutilización de los materiales para las construcción de otra?

Posiblemente la madera, aunque estaba apuntalada, podría reutilizarse prácticamente por completo.

15ª En cuanto a la confortabilidad. ¿Qué deficiencias tiene este tipo de garita y que implementaría en ella para la mejora de esta?

NTR.

16ª En cuanto a la protección. ¿Qué puntos débiles tiene la garita frente al tiro directo e indirecto?

Según prontuario de Ingenieros y Manual de fortificación francés: “Mémento de sauvegarde.

Protection en opération” ÉCOLE DU GÉNIE 2010: Proporciona protección frente a munición de hasta 12,70 mm a 600 m y Obús de 155 mm a 3 m.

17ª ¿Qué aspectos de la protección mejoraría en cuanto a diseño o materiales?

(Sin contestar)

18ª Aportación personal. En base a las garitas que ha construido díganos con qué aportaciones personales le gustaría que contara la garita respecto a cualquier ámbito. (Sistemas de vigilancia, protección, transporte, confortabilidad etc).

Creo que no hay una garita tipo para toda situación. Depende del emplazamiento, situación táctica, visibilidad, armamento del que se dispone y facilidad de adquisición de materiales en la zona a desplegar. Por supuesto, debemos de buscar que proporcione protección y que permita visibilidad sobre el objetivo).

Por favor, valore del 0 (menos importante) al 10 (más importante) los aspectos siguientes que debe cumplir la garita:

Facilidad en el transporte (6)

Fiabilidad de los materiales (5)

Seguridad frente a impactos (10)

Buen diseño para la vigilancia (7)

Buen diseño para la respuesta frente a ataques (6)

Bajo mantenimiento (6)

Rapidez en el montaje (6)

Sencillez de montaje (6)

Necesidad de pocas herramientas y maquinaria (3)

Uso de materiales locales (5)

Confort durante el uso (5)

Reciclaje del material (6)

Coste de la torre (4)



Encuesta 7

Encuesta para la posible mejora de las garitas en las COP

El objetivo de la encuesta es el estudio y mejora de las posibles garitas que hay en el ejército de tierra.

1ª ¿Con qué tipo de garita/s ha trabajado? (Garita UNIFIL (HESCOS), Garita en base a contenedores, Garitas de hormigón), si ha trabajado con alguna otra diga cuál.

He trabajado con Garita de UNIFIL en OP L/H y con garita de madera (prácticas en ACING).

2ª ¿Qué material empleó para la construcción de la garita?

Garita de UNIFIL: Hesco Bastión de UNIFIL, medidas 1 x 1 x 1 m para protección y perfiles metálicos para estructura.

3ª ¿Qué medios dispuso para su transporte, montaje y mantenimiento?

Camiones, máquinas y grúa de Ingenieros.

4ª ¿Sabría decir un coste aproximado de la construcción de esta?

Teniendo en cuenta el valor nacional de los productos, y considerando materiales de características similares, se podría tener un precio aproximado de unos 20.000 €.

5ª ¿Dónde consiguió el material para su construcción? (Si el material se obtuvo en zona de operación díganos si tuvo dificultades para su obtención y si es así cuales fueron)

El material se obtuvo a través de la cadena logística y se encontraba en disposición sin problemas.

6ª ¿Dónde desarrolló los trabajos de construcción?

En Líbano.

7ª ¿Tuvo dificultades para su construcción debido a las características del terreno? (si es así diga cual)

No. Era fácil de construir puesto que el terreno reunía buenas condiciones y los accesos eran mediante carreteras asfaltadas.

8ª ¿Para qué tipo de enemigo/ambiente táctico fue construida?

Protección contra tiro tenso, RPG.

9ª ¿Cuánto personal/maquinaria fue necesario para la construcción de la garita?

Un pelotón reforzado (12 PAX), incluyendo operadores de máquinas de grúa y operadores de máquina retroexcavadora. Si hubiera que realizar trabajos exhaustivos de explanación, el personal hubiera tenido que ser reforzado.

10ª ¿Cuánto tiempo fue necesario para la construcción de la garita?

Tres semanas aproximadamente con 15 jornadas de trabajo de 8 horas cada una.

11ª ¿Cuál fue la mayor dificultad en su construcción?

La nivelación de los Hescos, puesto que no proporciona unas características idóneas para su empleo como parte de la Garita. Es decir, que los Hescos fueron empleado como parte de la estructura.

12ª ¿Durante toda su vida útil fue sometida algún proceso de reparación?

Durante la permanencia en ZO no, pero es propensa a deterioros prematuros por las condiciones climatológicas y por su uso. La tela de los Hescos se rompe con cierta facilidad. Los HESCOS tienen una vida limitada. Depende mucho de su uso, ya que la tela se puede romper con cierta facilidad y en muchos casos su única solución es su sustitución. Este tipo de garitas no deben ser empleadas como semipermanentes o permanentes. Por mi experiencia particular, no debería considerarse una vida útil de más de 5 años, con probables reparaciones durante los mismos.

13ª ¿Para qué tipo de munición fue construida la garita?

Para tiro tenso, calibre inferior a 12,70 mm y RPG.

14ª Tras el desmontaje de la garita. ¿Sería posible la reutilización de los materiales para las construcción de otra?

No.

15ª En cuanto a la confortabilidad. ¿Qué deficiencias tiene este tipo de garita y que implementaría en ella para la mejora de esta?

La confortabilidad es mala. Las ventanas son abiertas, sin ningún tipo de protección. Los geotextil de los gaviones permiten filtrar el agua, por lo que lo tienen protección frente a la lluvia ni la humedad. No debería considerarse su uso como garitas de observación permanentes, si no como puestos de observación y tiro en caso de emergencia.

16ª En cuanto a la protección. ¿Qué puntos débiles tiene la garita frente al tiro directo e indirecto?

La estructura frente a tiro indirecto es escasa, ya que la estructura de acero no es lo suficiente sólida para aguantar el espesor de hormigón o tierra necesario para soportar impactos contra morteros.

17ª ¿Qué aspectos de la protección mejoraría en cuanto a diseño o materiales?

Los gaviones de geotextil son buenos frente a impactos directos porque proporcionan espesores de un metro de tierra. Pero no están diseñados para ser parte de la estructura. En esta garita se pretendía que los gaviones soportasen parte del peso



de la estructura, apoyado en los pilares metálicos. En mi opinión deben ser estructuras diferenciadas y diseñadas para cada objetivo, ya que el tiempo y el uso provocarán un deterioro prematuro, además de que cuando se produzca rotura de los gaviones, quedará inutilizada y la dificultad de cambiarlos es muy alta para este tipo de estructuras.

18ª Aportación personal. En base a las garitas que ha construido díganos con que aportaciones personales le gustaría que contara la garita respecto a cualquier ámbito. (Sistemas de vigilancia, protección, transporte, confortabilidad etc).

Lo más interesante de una garita es que nos proporcione capacidad de observación con una gran protección contra tiro tenso (calibre menor o igual a 12.70 mm, tiro de RPG y morteros de 81 mm, aguantando al menos el primer impacto de estos dos últimos). Para proporcionar capacidad de observación es muy importante la confortabilidad de los mismos. Las garitas son muy empleadas en los momentos iniciales de los despliegues o en pequeñas COPs donde sistemas de vigilancia como cámaras y sensores son implantados con posterioridad. También es importante que fuese modularizado, lo que aportaría rapidez, ya que se pueden instruir en territorio nacional y la adquisición de materiales sería más rápida.

Por favor, valore del 0 (menos importante) al 10 (más importante) los aspectos siguientes que debe cumplir la garita:

- Facilidad en el transporte (6)
- Fiabilidad de los materiales (6)
- Seguridad frente a impactos (10)
- Buen diseño para la vigilancia (6)
- Buen diseño para la respuesta frente a ataques (7)
- Bajo mantenimiento (7)
- Rapidez en el montaje (6)
- Sencillez de montaje (6)
- Necesidad de pocas herramientas y maquinaria (5)
- Uso de materiales locales (8)
- Confort durante el uso (4)
- Reciclaje del material (7)
- Coste de la torre (4)

ANEXO D-COMPORTAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA REFORZADOS CON FIBRAS

Conocer la trayectoria de un proyectil así como los efectos que producen dentro del blanco es muy importante a la hora de determinar el espesor a los blindajes, puesto que este al impactar produce una serie de fenómenos en el blanco que hay que tener muy en cuenta puesto que pueden producir daños en el material o personal. Los distintos fenómenos pueden producirse tanto en la cara frontal de impacto como en la cara posterior [18].

En la cara frontal del hormigón.

- **Cráter anterior o *spalling*:** Cráter de forma irregular que se produce cuando un proyectil de alta velocidad impacta contra un blanco de hormigón produciendo desprendimientos de este y originando un agujero.
- **Penetración:** Es el desplazamiento del proyectil dentro del blanco. En el caso de bajas velocidades de impacto y ángulos de incidencia normales, el proyectil no penetra más allá de la profundidad del cráter. Cuando el proyectil no es deformable crea, además del cráter, un orificio cilíndrico desplazando las partículas del hormigón situadas en su trayectoria hacia los lados.
- **Detención del proyectil en el blanco:** Cuando el proyectil no rebota ni perfora el blanco queda detenido dentro del mismo.
- **Rebote:** Fenómeno producido para una velocidad determinada de impacto y unas características determinadas del blanco produciendo que el proyectil rebote al contacto con el blanco de hormigón

En la cara posterior o traslados del blanco.

- **Cráter posterior o *scabbing*:** Efecto producido cuando el proyectil penetra casi por completo en el hormigón agrietándolo y posteriormente produciendo el *scabbing* como consecuencia de una elevada velocidad de impacto.
- **Perforación:** Es la penetración completa, es decir cuando el proyectil atraviesa el blanco con o sin velocidad de salida.

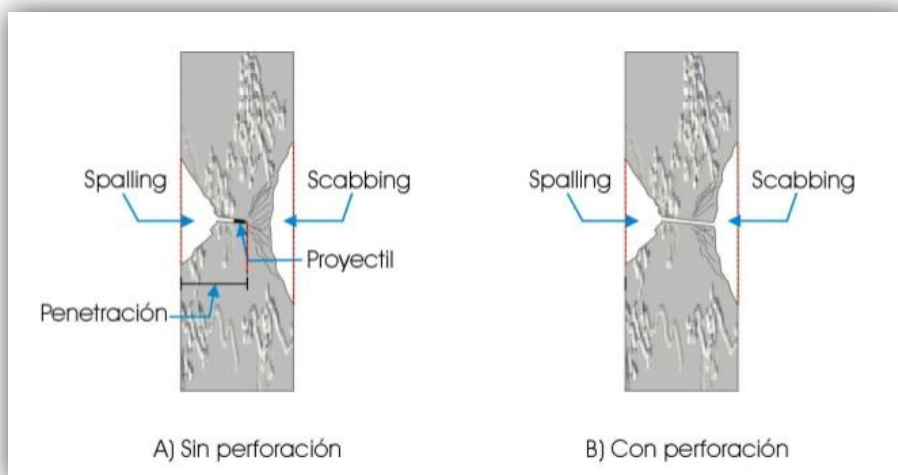


Ilustración 17: Fenómenos en un blanco de hormigón
Fuente: [18]

Diseño y caracterización de los hormigones de alta resistencia reforzada con fibras.

En la actualidad existen numerosos métodos para la dosificación de hormigones, sin embargo para los hormigones en masa de alta resistencia reforzados con fibras de acero, debido a sus condiciones específicas, no existe un procedimiento sistemático como existe para el resto de hormigones, si no que el diseño de una mezcla de HAR debe basarse en la experimentación mediante gran cantidad de ensayos de laboratorio.

En cuanto a la proporción de fibras de acero, esta puede variar de acuerdo a las condiciones específicas para las cuales está diseñado el hormigón, por lo que se requerirá ajustes en la dosificación de hormigón a fin de que la adición de fibras no conlleve una disminución de las características de este así como que la distribución de estas sea uniforme.

Para que un hormigón de alta resistencia tenga una buena dosificación se debe considerar que [18], [28]:

Cemento: La dosificaciones de cemento suelen ser altas, entre 400 y 500 kg/m³. Por otra parte los cementos normalmente utilizados son del tipo CEM I 42.5R/SR y CEM I 42.5 R.

Relación agua/cemento: Las últimas investigaciones recomiendan una relación que no exceda de 0,35, por lo general los valores suelen estar entre 0,30 y 0,35.

Áridos: El tamaño de los áridos en los hormigones con fibras no debe ser muy grande a fin de evitar alteraciones en su correcta distribución. Por otra parte dada la importancia de la composición granulométrica de los áridos, esta se recomienda que sea una composición de áridos continua, incorporando distintas fracciones granulométricas. Se suele utilizar un grueso de 12 mm y una arena con un módulo de

finura comprendido entre 1 y 5 mm. Una arena con un módulo de finura cercano a 3 mm suele ser adecuada.

Aditivos: En los hormigones de alta resistencia se utilizan proporciones mucho mayores de superplastificante que las empleadas que el hormigón convencional. La dosificación normalmente empleada para la fabricación de HAR está entre 5 y 20 l/m³, además que debe cumplir la normativa vigente por la cual no debe exceder de 50 g/kg de aditivo-cemento.

Humo de Sílice: Las cantidades normalmente utilizadas suelen oscilar entre un 5 y 10 %.

Los criterios para determinar la dosificación, se basaron en obtener un hormigón homogéneo, de adecuada consistencia, dócil y elevada resistencia a la compresión.

El método empleado en la dosificación de los ensayos de hormigón fue el de Faury, a través de la cual se fabricaron 11 hormigones de prueba con el objetivo de buscar la relación perfecta entre los distintos componentes (ver **Ilustración 18**).

Los estudios de las distintas dosificaciones, así como su caracterización se realizaron en el Laboratorio de Materiales de la Construcción del Departamento de Ingeniería Civil-Construcción de la Universidad Politécnica de Madrid.

Componentes		Dosificación										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cemento	Kg	500	450	500	475	500	475	500	500	475	475	500
	Tipo	I	I	I	I	II	II	I	I	I	I	I
Humo de Sílice (Kg) (%)		50 (10)	67.5 (15)	50 (10)	62.5 (13)	50 (10)	62.5 (13)	75 (15)	75 (15)	47.5 (10)	47.5 (10)	60 (12)
Arena (0-5) (Kg.)		545	545	630	630	630	630	630	630	630	630	630
Gravilla (5-20) (Kg.)		1070	1070	990	990	990	990	990	990	990	990	990
Agua (Litros)		150	146.5	150	142.5	150	142.5	150	150	142.5	142.5	150
Superplas- tificante (%)	Kg	7.5	6.75	7.5	7.12	7.5	7.12	7.5	10	7.12	9.5	10
	Tipo	II	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	%	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	1.5	2.0	2.0
Relación A/C		0.30	0.325	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Relación A/C+Kf K = 2		0.25	0.25	0.25	0.237	0.25	0.237	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24

Ilustración 18: Dosificaciones de hormigones de prueba
Fuente: [18]



Finalmente tras diversas pruebas y ensayos en donde se comprobó la resistencia a la tracción compresión y punzonamiento, se llegó a la conclusión de que el más idóneo para utilizar de acuerdo a los resultados obtenidos es el correspondiente a la muestra 3 cuyas características más detalladas se muestran a continuación.

A. Cemento

Cemento		CEM I 42.5R/SR (%)
Composición potencial del clinker	C ₃ S	71,9
	C ₂ S	4,3
	C ₃ A	0
	C ₄ AF	18,8
Finura (cm ² /g)		4.000 ± 250

Tabla 11: Propiedades del cemento
Fuente: [18]

B. Áridos

Propiedades	Arena
Densidad de la muestra seca (g/cm ³)	2,22
Coeficiente de absorción (%)	0,82
Densidad de la muestra saturada (g/cm ³)	2,24
Humedad (%)	0,73
Módulo granulométrico	4,59

Tabla 12: Propiedades de los áridos
Fuente: [18]

C. Grava

Propiedades	Grava
Densidad de la muestra seca (g/cm ³)	2,5
Coeficiente de absorción (%)	0,87
Densidad de la muestra saturada (g/cm ³)	2,52
Humedad (%)	1,84
Módulo granulométrico	6,35

Tabla 13: Propiedades de la grava
Fuente: [18]

D. Fibras metálicas

El contenido de fibras metálicas utilizadas en los moldes de hormigón será de 60 kg/m³

Marca	Ref	Tipo de fibra	Encoladas	Extrem. Confor.	Longitud	ϕ	I/D	f_u (N/mm ²)
Dramix	D 80/60 HC	80/60 High carbon	si	si	60	0,80	75	200

Tabla 14: Propiedades de las fibras
Fuente: [18]

E. Superplastificante

Propiedades	Sikament 500
Aspecto	Líquido marrón
Densidad (kg/l)	1,14
pH (aprox)	6,5

Tabla 15: Propiedades del superplastificante
Fuente: [18]

F. Humo de sílice

Las características químicas exigidas al humo de sílice para su uso en hormigones, morteros y pastas de cemento están incluidas en la Norma UNE 83-460-94. El humo de sílice utilizado en los ensayos se presenta en forma de polvo densificado y es suministrado por la firma FERROATLANTICA.

Propiedades	Resultado
Área superficial (m ² /g)	21,73
Densidad relativa (g/cm ³)	2,26
Densidad de conjunto (g/cm ³)	0,648
Retenido 45 μ m (%)	0,5
Contenido de SiO ₂ (%)	93,5

Tabla 16: Propiedades del humo de sílice
Fuente: [18]

**G. Dosificación**

Por metro cubico de hormigón

Componentes		Dosificación
Cemento	kg	500
	Tipo	I
Humo de sílice (kg) (%)		50 (10)
Arena (0-5) (kg)		630
Gravilla (5-20) (kg)		990
Agua (Litros)		150
Superplastificante (%)	kg	7,5
	%	1,5
Relación A/C		0,30
Relación A/C+Kf K=2		0,25

Tabla 17: Dosificación del HAR

Fuente: [18]

ANEXO E-CARACTERÍSTICAS DE LOS PROYECTILES EMPLEADOS EN LOS ENSAYOS Y CÁLCULOS.

A continuación adjunto alguna de las características más importantes de los proyectiles empleados.

A. Calibre 7,62 mm

Nombre	7,62 x 51 NATO o 308 WINCHESTER
Marcas culote	CUÑO NATO/FNM/23-75
Uso	Perforante
Proyectil	
	
Características	
Longitud del cartucho	70,7 mm
Longitud de la vaina	51 mm
Diametro del proyectil	7,88 mm
Diámetro vaina	11,94 mm
Peso del proyectil	9,43 g
Velocidad teórica en boca	830 m/s
Energía teórica en boca	3.000 J

Tabla 18: Calibre 7,62 mm
Fuente: [18], [Elaboración propia]

**B. Calibre 12,70 mm**

Nombre	12.70 x 99 o 50 BROWNING
Marcas culote	12,70 x 99/SB 96
Uso	Perforante-Incendiario
Proyectil	
	
Características	
Longitud del cartucho	138,05 mm
Longitud de la vaina	98,95 mm
Diámetro del proyectil	12,93 mm
Diámetro vaina	20,3 mm
Peso del proyectil	41,783 g
Velocidad teórica en boca	830 m/s
Energía teórica en boca	14.211 J

Tabla 19: Calibre 12,70 mm
Fuente: [18], [Elaboración propia]

C. Calibre 20 mm

Nombre	20 x 120 OERLIKON o 20/120.5 TG
Marcas culote	020/81/SB
Uso	Perforate APDS (AMOR PIERCING DISCARDING SAVOT)
Proyectil	
	
Características	
Longitud del cartucho	204 mm
Longitud de la vaina	128,6 mm
Diámetro del proyectil	19,92 mm
Diámetro de la vaina	31,9 mm
Peso del proyectil	280 g
Velocidad teórica en boca	1.300 m/s
Energía teórica en boca	6.336 J

Tabla 20: Calibre 20 mm
Fuente: [18], [Elaboración propia]

**D. Calibre 25 mm**

Nombre	25 x 137 APDS-T
Marcas culote	020/81/SB
Uso	Perforante subcalibrado trazador
Proyectil	
	
Características	
Longitud del cartucho	224 mm
Longitud de la vaina	137 mm
Diámetro del proyectil	26,5 mm
Diámetro de la vaina	38 mm
Peso del proyectil	143 g
Velocidad teórica en boca	1.350 m/s
Energía teórica en boca	6.500 J

Tabla 21: Calibre25 mm
Fuente: [18], [Elaboración propia]

E. Calibre 81 mm

Nombre	Mortero de 81 mm
Marcas culote	Sin marcas
Uso	Perforante , Rompedor
Proyectil	
	
Características	
Peso del proyectil	4,128 kg
Calibre	81 mm
Velocidad media de impacto	234 m/s
Carga de TNT	675 g
Tiempo de iniciación	Instantáneo
Velocidad teórica en boca	75 a 100 m/s
Alcance máximo	6.500 m

Tabla 22: Mortero de 81 mm
Fuente: [[Elaboración propia](#)]



ANEXO F-ENSAYOS BALÍSTICOS

En el siguiente anexo muestra diferentes tablas en las que recoge los datos balísticos obtenidos en los diferentes ensayos con los bloques de hormigón armado alta resistencia [18], [20].

Para comprobar la ventaja de los hormigones de alta resistencia frente a los convencionales se pusieron a prueba dos tipos; uno de alta resistencia aproximadamente de (100 MPa) y uno de resistencia convencional (40 MPa).

Una vez fabricadas las placas se almacenaron en ambiente de laboratorio durante 28 días, para posteriormente transportarse al polígono de Experiencias del Ejército (PEE) para efectuar los ensayos balísticos.

La designación de cada placa-blanco la formaba en primer lugar el tipo de hormigón empleado (HAR o HC), seguido de espesor en cm continuado con el contenido de fibras en kg/m³ y finalmente con un indicativo del número de placa en el caso de existir más de una de las mismas características.

Así por ejemplo HAR-15/60/2 indica que se trata de una placa de hormigón de alta resistencia, de 15 cm de espesor, con un hormigón de 60 kg/cm³ de fibras de acero y que es de la segunda de las dos de iguales características que se ensaya. El número de placas de HAR ensayadas fue de 43, distribuidas en: 5 de 5 cm, 7 de 10 cm, 6 de 15 cm, 5 de 20 cm, 3 de 25 cm, 5 de 25 cm y 6 de 40 cm de espesor, mientras que el número de placas ensayadas de HC fue solo de 6 de 40 cm de espesor.



Ilustración 19: Placas de hormigón
Fuente: [18]

Los ensayos balísticos se llevaron a cabo dentro de una galería de tiro cubierta de 100 m de longitud (ver **Apéndice 1-Datos Balísticos**) [18], sujetando las placas mediante un soporte de gran rigidez para evitar su desplazamiento tras el impacto. Los soportes estaban posicionados de tal forma que el ángulo de incidencia del proyectil fuera prácticamente 90 grados.



Ilustración 20: Galería de tiro

Fuente: [18]

Los proyectiles empleados con las placas de hasta 20 mm fueron 7,62 mm y 12,70 mm en una primera fase. En una segunda fase se emplearon placas de mayor espesor para proyectiles de 20 mm y 25 mm.

Con los proyectiles de 7,62 mm y 12,70 mm, la distancia entre el arma y la cara frontal del blanco era de 15 m, mientras que para los proyectiles de 20 mm la distancia pasó a ser de 30 m, elevándose esta a 46 m para los proyectiles de 25 mm.

La toma de datos se efectuó mediante radares Doppler y cámaras ultrarrápidas. El emisor del radar se situó en la boca del arma de modo que al efectuar el disparo se activase a fin de medir la velocidad. En las proximidades de la cara anterior y posterior de la placa se colocaron otros radares para medir la velocidad de impacto y la velocidad de salida en el caso de perforación del proyectil [20].



Apéndice 1-Datos balísticos

HAR – 05 – F - 1										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm ³)	Scabbing (cm ³)	Proy. Alojado
1	7.62 AP	838	828	--	Si	No	--	35	50	No
2	7.62 AP	791	782	--	No	Si	--	35	75	No
3	7.62 AP	723	711	--	No	Si	--	40	100	No
4	7.62 AP	682	673	--	No	No	29	35	--	No
5	7.62 AP	669	658	--	No	No	24	25	--	No
HAR – 05 – F - 2										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm ³)	Scabbing (cm ³)	Proy. Alojado
1	12.7 M8	897	852	--	Si	--	--	60	130	No
2	12.7 M8	862	857	--	Si	--	--	60	180	No
3	7.62 AP	840	830	--	Si	--	--	40	45	No
4	7.62 AP	941	931	--	Si	--	--	35	75	No
5	7.62 AP	837	827	--	Si	--	--	45	90	No
HAR – 10 – F - 1										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm ³)	Scabbing (cm ³)	Proy. Alojado
1	12.7 M8	870	863	--	Si	--	--	110	145	No
2	12.7 M8	849	843	--	Si	--	--	90	130	No
3	12.7 M8	885	879	--	Si	--	--	110	180	No
4	12.7 M8	893	886	--	Si	--	--	100	150	No

HAR – 10 – F - 2										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	12.7 M8	895	885	360	Si	--	--	110	190	No
2	12.7 M8	937	928	380	Si	--	--	130	130	No
3	12.7 M8	933	923	419	Si	--	--	180	180	No
HAR – 10 – F - 3										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	12.7 M8	882	875	315	Si	--	--	110	180	No
2	12.7 M8	878	872	290	Si	--	--	65	175	No
3	12.7 M8	872	863	180	Si	--	--	95	140	No
HAR – 10 – F - 4										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	7.62 AP	890	872	--	No	No	42	35	--	No
2	7.62 AP	839	827	--	No	No	30	65	--	No
3	7.62 AP	758	748	--	No	No	30	35	--	No
HAR – 10 – F - 5										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
2	7.62 AP	880	868	--	No	Si	32	65	--	Si
2	7.62 AP	823	817	--	No	Si	30	40	--	Si
3	7.62 AP	777	766	--	No	Si	29	40	--	Si
HAR – 10 – F - 6										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	12.7 M8	862	854	--	Si	--	--	145	250	No
2	12.7 M8	868	860	240	Si	--	--	120	175	No
3	12.7 M8	877	868	325	Si	--	--	75	150	No
HAR – 10 – N - 3										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	7.62 AP	890	879	--	No	No	52	--	--	No
2	7.62 AP	827	816	--	No	No	37	--	--	No
3	7.62 AP	748	738	--	No	No	42	50	--	No



HAR – 15 – N - 1										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	7.62 AP	883	872	--	No	No	30	70	--	No
2	7.62 AP	826	815	--	No	No	33	65	--	No
3	7.62 AP	771	761	--	No	No	30	55	--	No
HAR – 15 – N - 2										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	7.62 AP	870	863	--	No	No	45	135	--	No
2	7.62 AP	849	843	--	No	No	35	90	--	No
3	7.62 AP	885	879	--	No	No	47	100	--	No
HAR – 20 – N - 2										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	12.7 M8	858	852	--	No	No	90	--	--	No
HAR – 15 – F - 1										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	12.7 M8	879	872	--	No	--	62	120	--	No
2	12.7 M8	860	855	--	No	--	64	120	--	No
3	12.7 M8	899	891	--	No	--	79	235	--	No
HAR – 15 – F - 2										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	12.7 M8	856	848	--	No	--	71	235	--	Si
2	12.7 M8	866	857	--	No	--	52	170	--	Si
3	12.7 M8	874	866	--	No	--	65	175	--	Si
HAR – 15 – F - 3										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	12.7 M8	851	845	--	No	No	49	100	--	Si
2	12.7 M8	849	843	--	No	No	60	150	--	Si
3	12.7 M8	892	888	--	No	No	67	170	--	Si
4	12.7 M8	952	946	--	Si	--	--	100	25	--
5	12.7 M8	944	938	--	Si	--	--	150	75	--

HAR – 15 – F – 4										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	7.62 AP	901	889	--	No	No	35	45	--	No
2	7.62 AP	842	832	--	No	No	47	45	--	No
3	7.62 AP	805	795	--	No	No	37	30	--	No
HAR – 20 – F – 1										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	12.7 M8	867	862	--	No	No	50	190	--	No
2	12.7 M8	868	862	--	No	No	55	230	--	Si
3	12.7 M8	856	851	--	No	No	56	190	--	Si
4	12.7 M8	869	864	--	No	No	72	255	--	Si
5	12.7 M8	852	846	--	No	No	81	210	--	Si
HAR – 5 – N – 1										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	7.62 AP	773	759	--	Si	Si	--	--	--	No
2	7.62 AP	791	782	--	Si	Si	--	--	--	No
3	7.62 AP	777	768	--	Si	No	--	--	--	No
HAR – 10 – N – 1										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	7.62 AP	839	830	--	No	No	--	--	--	No
2	7.62 AP	872	862	--	No	No	--	--	--	No
3	7.62 AP	967	955	--	No	No	--	--	--	No
4	7.62 AP	1437	1245	--	No	No	proyectil desestabilizado			No
5	12.7 M8	863	859	--	Si	--	--	--	--	No
HAR – 10 – N – 2										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	7.62 AP	828	817	--	No	No	40	--	--	No
2	7.62 AP	774	762	--	No	No	60	39	--	No
3	7.62 AP	952	939	--	No	No	40	38	--	No
HAR – 20 – F – 2										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	20 mm APDS	1270	1252	--	SI	SI	--	430	1250	No



HAR – 25 – F - 2										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	20 mm APDS	1266	1254	--	SI	SI	--	665	600	No
HAR – 25 – F - 1										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	20 mm APDS	1274	1259	--	SI	SI	--	990	550	No
HAR – 25 – N - 1										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	20 mm APDS	1267	1254	--	COLAPSO DE LA PLACA ANTE EL IMPACTO					
HAR – 40 – F - 4										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	25 mm APDS	1324	1315	--	No	No	320	400	--	Si
HAR – 35 – F - 4										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	25 mm APDS	1332	1324	--	No	No	340	465	--	Si
HC – 40 – F - 4										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	25 mm APDS	1321	1314	--	Si	Si	--	500	555	No
HC – 40 – F - 1										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	20 mm APDS	1265	1257	--	Si	Si	--	250	450	No
HAR – 40 – F - 2										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	20 mm APDS	1274	1261	--	No	No	220	700	--	Si

HAR – 35 – F - 2										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/s)	V impacto (m/s)	V salida (m/s)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	20 mm APDS	1286	1276	--	Si	Si	--	280	700	No
HAR – 40 – F - 3										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/s)	V impacto (m/s)	V salida (m/s)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	25 mm APDS	1320	1296	--	No	No	210	1025	--	Si
HC - 40 – F - 2										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/s)	V impacto (m/s)	V salida (m/s)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	20 mm APDS	1274	1266	--	Si	Si	--	440	395	No
HAR – 35 – F - 1										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/s)	V impacto (m/s)	V salida (m/s)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	20 mm APDS	1274	1266	--	No	No	220	700	--	Si
HAR – 40 – F - 1										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/s)	V impacto (m/s)	V salida (m/s)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	20 mm APDS	1278	1268	--	No	No	330	335	--	Si
HAR – 35 – F - 3										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/s)	V impacto (m/s)	V salida (m/s)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	25 mm APDS	1323	1315	--	No	No	200	800	--	Si
HAR – 40 – N - 1										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/s)	V impacto (m/s)	V salida (m/s)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	20 mm APDS	1268	1260	--	COLAPSO DE LA PLACA ANTE EL IMPACTO					
HAR – 40 – N - 2										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/s)	V impacto (m/s)	V salida (m/s)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	25 mm APDS	1326	1320	--	COLAPSO DE LA PLACA ANTE EL IMPACTO					



HAR – 35 – F - 2										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	20 mm APDS	1286	1276	--	Si	Si	--	280	700	No
HAR – 40 – F - 3										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	25 mm APDS	1320	1296	--	No	No	210	1025	--	Si
HC - 40 – F - 2										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	20 mm APDS	1274	1266	--	Si	Si	--	440	395	No
HAR – 35 – F - 1										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	20 mm APDS	1274	1266	--	No	No	220	700	--	Si
HAR – 40 – F - 1										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	20 mm APDS	1278	1268	--	No	No	330	335	--	Si
HAR – 35 – F - 3										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	25 mm APDS	1323	1315	--	No	No	200	800	--	Si
HAR – 40 – N - 1										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	20 mm APDS	1268	1260	--	COLAPSO DE LA PLACA ANTE EL IMPACTO					
HAR – 40 – N - 2										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/sg)	V impacto (m/sg)	V salida (m/sg)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	25 mm APDS	1326	1320	--	COLAPSO DE LA PLACA ANTE EL IMPACTO					

HC – 40 – N - 1										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/s)	V impacto (m/s)	V salida (m/s)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	20 mm APDS	1264	1252	--	COLAPSO DE LA PLACA ANTE EL IMPACTO					
HC – 40 – N - 2										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/s)	V impacto (m/s)	V salida (m/s)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	25 mm APDS	1324	1291	--	COLAPSO DE LA PLACA ANTE EL IMPACTO					
HC – 40 – F - 3										
Impacto No.	Munición	V inicial (m/s)	V impacto (m/s)	V salida (m/s)	Perf.	Proy.	Prof. (mm)	Spalling (cm³)	Scabbing (cm³)	Proy. Alojado
1	25 mm APDS	1328	1319	--	SI	SI	--	340	450	No



Apéndice 2-Resumen de los datos balísticos

Designación / Designation	Espesor placa / Plate thickness (cm)	Contenido fibras / Fibrecontent (kg/m³)	Proyectil calibre / Caliber project (mm)	Número disparos por placa / Shots number for plate	Velocidad media impacto / Average velocity of impact (m/s)	Masa del proyectil / Projectile mass (g)	Energía cinética impacto / Kinetics impact energy (kJ)
HAR-5/0	5	0	7.62	3	780	9.45	2.88
HAR-5/20/1		20	7.62	5	719	"	2.44
HAR-5/40/1		40	7.62	3	832	"	3.27
HAR-5/40/2		"	12.70	2	859	25.00	9.22
HAR-10/0/1	10	0	7.62	8	882	9.45	3.68
HAR-10/0/2		"	7.62	3	840	"	3.33
HAR-10/20/1		20	12.70	4	874	25.00	9.55
HAR-10/40/1		40	12.70	3	912	"	10.40
HAR-10/60/1		60	12.70	3	932	"	10.86
HAR-10/80/1		80	12.70	3	816	"	8.32
HAR-15/0/1	15	0	7.62	3	816	9.45	3.15
HAR-15/20/1		20	12.70	3	873	25.00	9.46
HAR-15/40/1		40	12.70	3	857	"	9.18
HAR-15/60/1		60	12.70	3	858	"	9.20
HAR-15/60/2		"	12.70	2	942	"	11.09
HAR-20/0/1	20	0	12.70	1	852	25.00	9.07
HAR-20/20/1		20	12.70	3	858	"	9.20
HAR-20/20/2		"	12.70	2	855	"	9.14
HAR-20/40/1		40	20.00	1	1252	72.00	56.43
HAR-25/0/1	25	0	20.00	1	1254	72.00	55.61
HAR-25/20/1		20	20.00	1	1259	"	57.06
HAR-25/40/1		40	20.00	1	1254	"	56.61
HAR-35/0/1	35	0	20.00	1	1254	72.00	55.61
HAR-35/20/1		20	20.00	1	1276	"	58.61
HAR-35/40/1		40	20.00	1	1266	"	57.70
HAR-35/60/1		60	25.00	1	1315	121.00	104.62
HAR-35/80/1		80	25.00	1	1324	"	106.06
HAR-40/0/1	40	0	20.00	1	1260	72.00	57.15
HAR-40/0/2		"	25.00	1	1320	121.00	105.41
HAR-40/20/1		20	20.00	1	1268	72.00	57.88
HAR-40/40/1		40	20.00	1	1261	"	57.24
HAR-40/60/1		60	25.00	1	1296	121.00	101.62
HAR-40/80/1		80	25.00	1	1315	"	104.62
HC-40/0/1	40	0	20.00	1	1252	72.00	56.43
HC-40/0/2		"	25.00	1	1291	121.00	100.83
HC-40/20/1		20	20.00	1	1257	72.00	56.88
HC-40/40/1		40	20.00	1	1266	"	57.70
HC-40/60/1		60	25.00	1	1319	121.00	105.26
HC-40/80/1		80	25.00	1	1314	"	104.46

Designación / <i>Designation</i>	Calibre proyectil / <i>Caliber projectile</i> (mm)	Volumen medio / <i>Average</i> "spalling" volume (cm)	Volumen medio / <i>Average</i> "scabbing" volume (cm)	Comportamiento / <i>Behaviour</i>	Profundidad de penetración / <i>Deep penetration x</i> (mm)	Profundidad- espesor / <i>Deep</i> thickness x/e
HAR-5/0	7.62	42	87	Perforada / <i>Perforated</i>	-	-
HAR-5/20/1	7.62	34	75	Perforada / <i>Perforated</i>	-	-
HAR-5/40/1	7.62	29	70	No perforada / <i>Non perforated</i>	22	0.44
HAR-5/40/2	12.70	60	155	No perforada / <i>Non perforated</i>	-	-
HAR-10/0/1	7.62	110	0	No perforada / <i>Non perforated</i>	40	0.40
HAR-10/0/2	7.62	76	0	No perforada / <i>Non perforated</i>	42	0.42
HAR-10/20/1	12.70	103	202	Perforada / <i>Perforated</i>	-	-
HAR-10/40/1	12.70	140	167	Perforada / <i>Perforated</i>	-	-
HAR-10/60/1	12.70	102	165	Perforada / <i>Perforated</i>	-	-
HAR-10/80/1	12.70	136	0	No perforada / <i>Non perforated</i>	52	0.52
HAR-15/0/1	7.62	63	0	No perforada / <i>Non perforated</i>	33	0.22
HAR-15/20/1	12.70	158	0	No perforada / <i>Non perforated</i>	-	-
HAR-15/40/1	12.70	152	0	No perforada / <i>Non perforated</i>	-	-
HAR-15/60/1	12.70	140	0	No perforada / <i>Non perforated</i>	67	0.47
HAR-15/60/2	12.70	125	0	No perforada / <i>Non perforated</i>	74	0.49
HAR-20/0/1	12.70	320	0	No perforada / <i>Non perforated</i>	90	0.45
HAR-20/20/1	12.70	203	0	No perforada / <i>Non perforated</i>	55	0.28
HAR-20/20/2	12.70	232	0	No perforada / <i>Non perforated</i>	56	0.28
HAR-20/40/1	20.00	430	850	Perforada / <i>Perforated</i>	-	-
HAR-25/0/1	20.00	-	-	Rotura placa / <i>Break of plate</i>	-	-
HAR-25/20/1	20.00	490	600	Perforada / <i>Perforated</i>	-	-
HAR-25/40/1	20.00	425	550	Perforada / <i>Perforated</i>	-	-
HAR-35/0/1	20.00	-	-	Rotura placa / <i>Break of plate</i>	-	-
HAR-35/20/1	20.00	430	630	Perforada / <i>Perforated</i>	-	-
HAR-35/40/1	20.00	280	600	No perforada / <i>Non perforated</i>	260	0.74
HAR-35/60/1	25.00	800	0	No perforada / <i>Non perforated</i>	220	0.63
HAR-35/80/1	25.00	465	0	No perforada / <i>Non perforated</i>	200	0.57
HAR-40/0/1	20.00	-	-	Rotura placa / <i>Break of plate</i>	-	-
HAR-40/0/2	25.00	-	-	Rotura placa / <i>Break of plate</i>	-	-
HAR-40/20/1	20.00	435	0	No perforada / <i>Non perforated</i>	250	0.62
HAR-40/40/1	20.00	700	0	No perforada / <i>Non perforated</i>	220	0.55
HAR-40/60/1	25.00	524	0	No perforada / <i>Non perforated</i>	280	0.70
HAR-40/80/1	25.00	400	0	No perforada / <i>Non perforated</i>	210	0.52
HC-40/0/1	20.00	-	-	Rotura placa / <i>Break of plate</i>	-	-
HC-40/0/2	25.00	-	-	Rotura placa / <i>Break of plate</i>	-	-
HC-40/20/1	20.00	250	450	Perforada / <i>Perforated</i>	-	-
HC-40/40/1	20.00	395	440	Perforada / <i>Perforated</i>	-	-
HC-40/60/1	25.00	340	465	Perforada / <i>Perforated</i>	-	-
HC-40/80/1	25.00	295	450	Perforada / <i>Perforated</i>	-	-



ANEXO G-PUERTA BLINDADA

En el siguiente anexo se muestran las características de la puerta blindada utilizada en la planta baja, la cual ha sido obtenida de la empresa TECKENTRUP (ver **Ilustración 21** e **Ilustración 22**).




Datos técnicos			
Producto:	Puerta de acero antibalas dw 64-1 „Teckentrup BP“ FB4 Probada según DIN EN 1522, clase FB4		Acristalamiento: según DIN EN 1063 BR 4, espesor 49 mm con marcos de acero Lado interior inastillable
Instalación en:	<ul style="list-style-type: none">Mampostería: mín. 240 mmHormigón: mín. 140 mm		Equipamiento especial: <ul style="list-style-type: none">Manilleras pomo-pomo/pomo-manilla: (varios fabricantes) Con pomo exterior fijoCerraduras<ul style="list-style-type: none">Cilindro PZ 40,5 + 40,5 mmCerraduras antipánicoJuntas inferioresAcristalamiento rectangular (med. especial)Vierteaguas de aluminio
Medidas:	Ancho: 750 – 1500 mm Alto: 1750 – 3000 mm		
Apertura:	DIN derecha o DIN izquierda		
Hoja de puerta:	pared doble, galce 3 lados, Relleno: <div>Placa acero Fibra mineral Cartón yeso</div> Grosor: 64 mm Espesor: 1,5 mm Bulones seguridad: 1		
Cerco:	Cerco angular galvanizado 2,0 mm espesor, con junta trilateral y asiento en el suelo. Fijación del cerco mediante atomillado, Cantidad: 3 por lado Equipamiento especial: Cerco de bloque y contracerco o cerco integral		
Superficie:	Hoja de la puerta y cerco galvanizados y con imprimación, similar a RAL 9002 (blanco grisáceo).		
Bisagras y cierrapuertas:	<ul style="list-style-type: none">2 Bisagras de construcción con rodamiento a bolasPines de seguridad		
Herrajes:	<ul style="list-style-type: none">Cerradura empotrable manilla-pomo con perforación para cilindro pz.Manillería plástico negroManillería alojada giratoria con cerradura de borja y 1 llave		
Cualidades adicionales (equipamiento especial):			
 ♦ Cortafuego según EN 1342-1 (DIN 4102)			
 ♦ Protección acústica según DIN EN 20140/717 Parte 1 hasta RW 45dB			
 ♦ Anti-intrusión según DIN EN 1627 - RC 4			

Ilustración 21: Datos técnicos de la puerta

Fuente: [29]

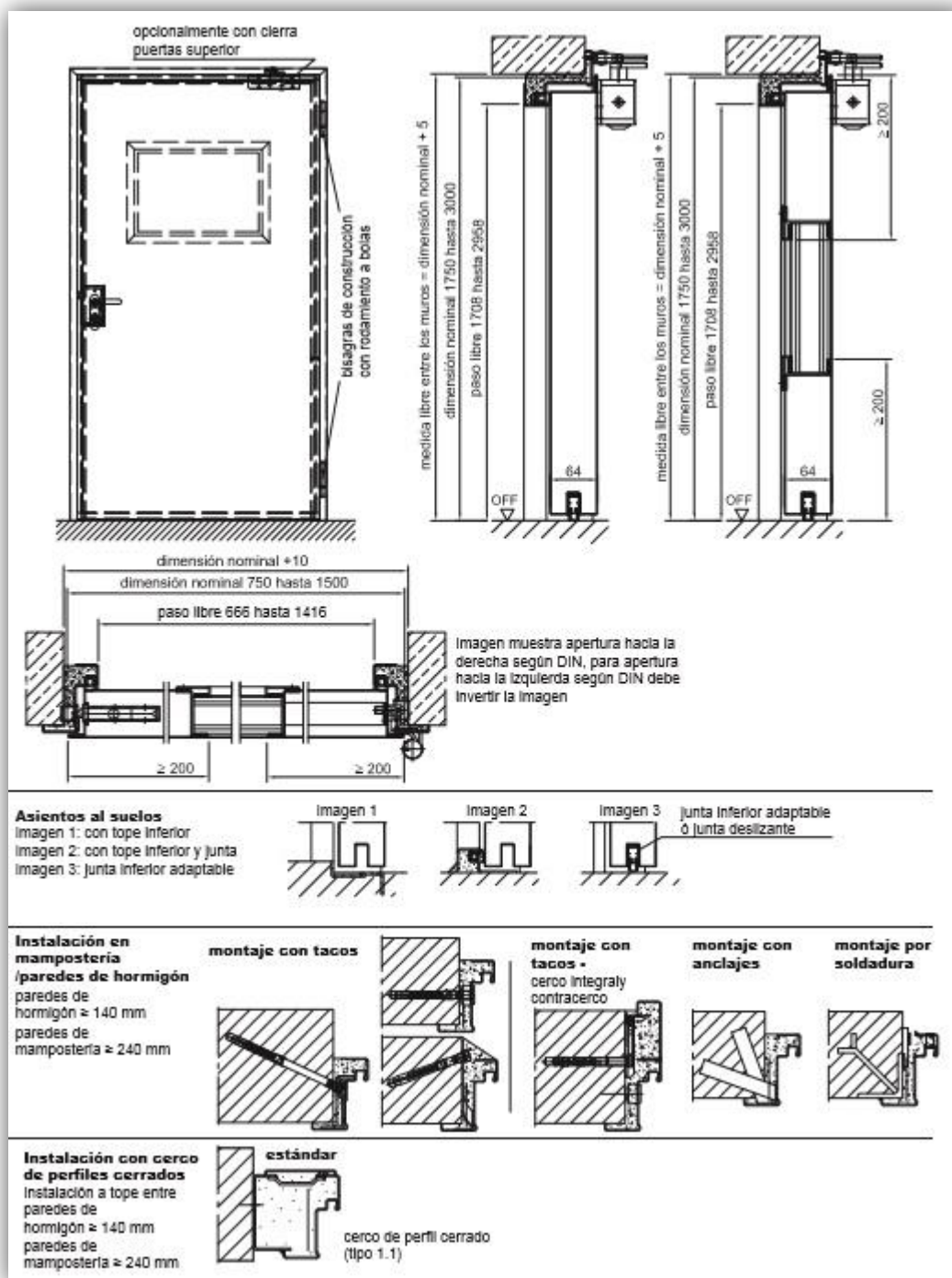


Ilustración 22: Datos técnicos de la puerta
Fuente: [29]



ANEXO H-MEDIOS DE TRANSPORTE DEL ET

Actualmente los medios con los que cuenta el ET para el transporte son muy limitados en cuanto a largas distancias se refiere, lo que limita mucho a la hora de la fabricar módulos gran tamaño y espesor debido principalmente al aumento de peso.

Para el transporte de nuestra torre de vigilancia en el caso de fabricarse en territorio nacional y llevarse al teatro de operaciones, esta podrá transportarse de dos formas, la primera mediante transporte aéreo y la segunda marítima.

En el caso de realizase por transporte aéreo, debido al peso de la torre (29,9 t) será necesario el alquiler de un avión Antonov AN-124-100 o similar con capacidad de carga de hasta 120.000 kg [30] para permitir el transporte por aire de las cuatro torres necesarias para la COP ya que actualmente el avión con mayor capacidad de carga existente en el ejército español es el A-400M [31] con una carga máxima de 37.000 kg el cual solo permitiría el transporte único de una de ellas.



Ilustración 23: Avión Antonov AN-124-100
Fuente: [30]



Ilustración 24: Avión A-400M
Fuente: [31]

En el caso del transporte por mar este podrá realizarse siempre y cuando el trayecto posterior por tierra no sea excesivo. Para ello el ejército español cuenta con el barco de transporte “Camino Español” (A-05).



Ilustración 25: Camino Español
Fuente: [32]

Una vez llegados al destino estos podrán transportarse hasta la COP sobre góndolas y por medio de camiones IVECO M250 aun en dotación en el ET cuyas características pueden apreciarse en la **Ilustración 26**.

CAMION IVECO M250

FABRICACIÓN	ESPAÑA
LONGITUD TOTAL	8.408 MM
ANCHURA MÁXIMA	2550 mm
MOTOR	IVECO
POTENCIA	294 C.V.
TARA	12.740 KG
MMA	25.000 KG
OBSERVACIONES	Este vehículo cumple funciones logísticas para unidades de primera línea y parte trasera escalonada. Puede arrastrar remolques y piezas de artillería. Además puede ser transportado por vía aérea en avión de transporte C130 HÉRCULES después de una breve preparación.



Ilustración 26: Características del camión IVECO M250
Fuente: [33]

Por otro lado, para el manejo de los paneles y su colocación será necesaria una grúa con gran capacidad de elevación de carga. Para ello podrá utilizarse la grúa LUNA, cuyas características se puede ver en la **Ilustración 27**.



GRUA LUNA

FABRICACIÓN	ESPAÑA
LONGITUD TOTAL	10.610 MM
ANCHURA MÁXIMA	2500 mm
ALTURA MAXIMA	2585 mm
MOTOR	MERCEDES BENZ
POTENCIA	205 C.V.
TARA	23.850 KG
MMA	24.000 KG

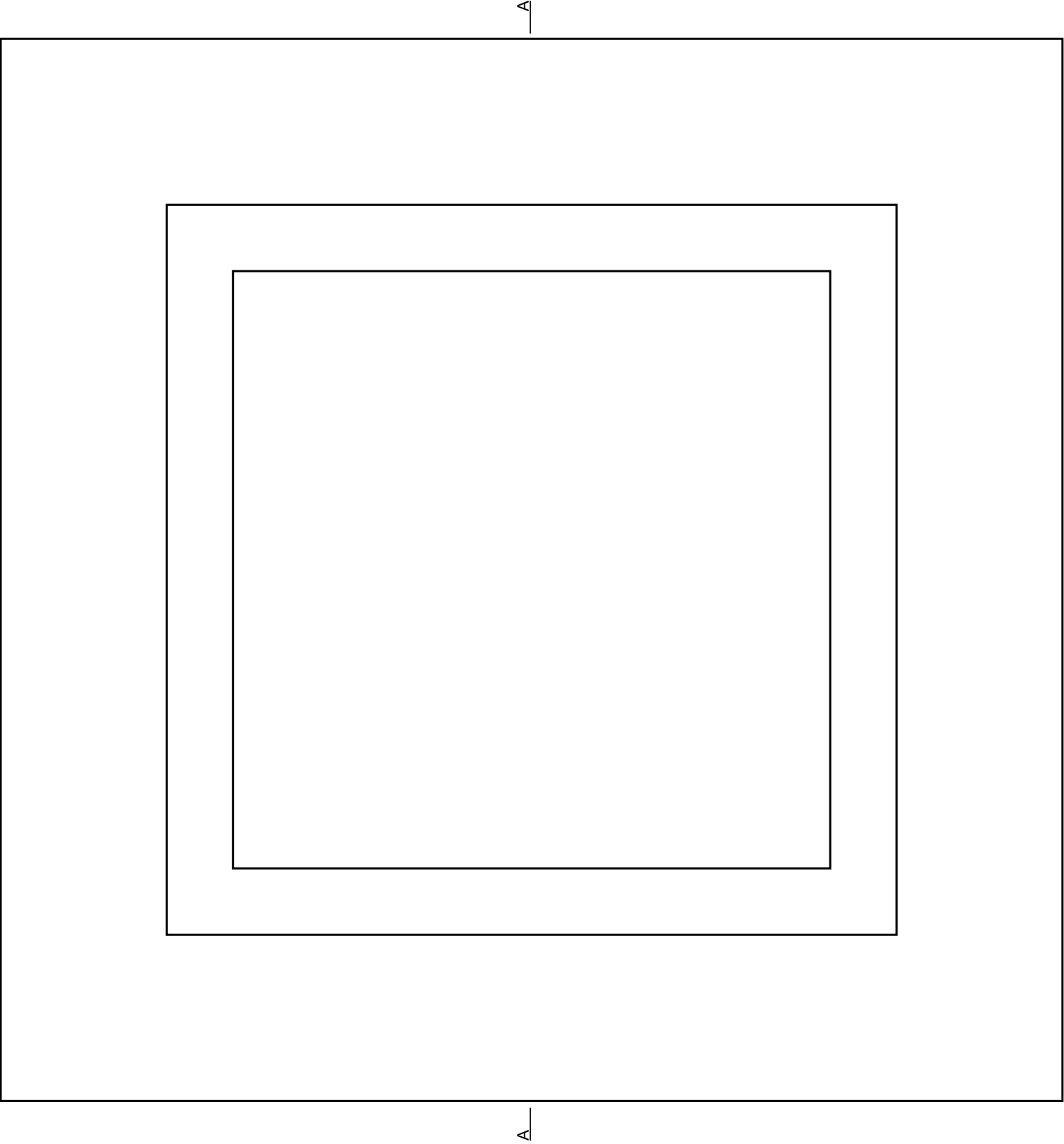


Ilustración 27: Características de la grúa Luna

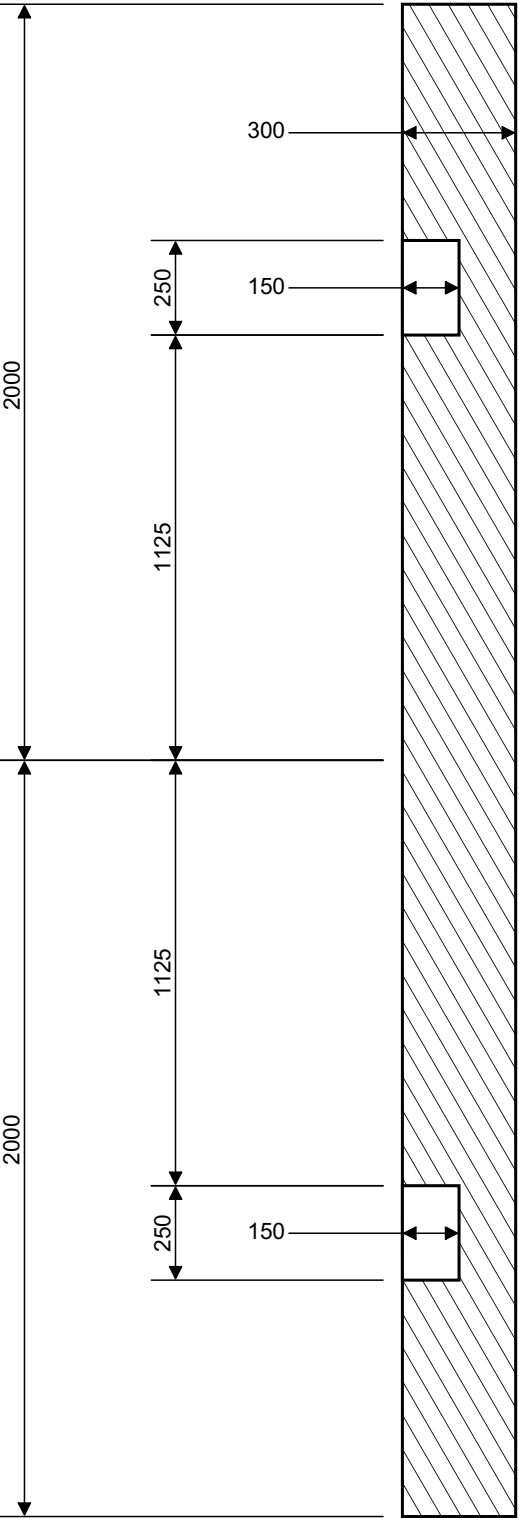
Fuente: [33]

En el caso de realizarse directamente en el teatro de operaciones por una empresa civil del país, bastaría con el transporte mediante los camiones militares antes mencionados o similares.

ANEXO I-PLANOS



La planta es cuadrada y simétrica



sección AA

TÍTULO DEL PROYECTO
TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA

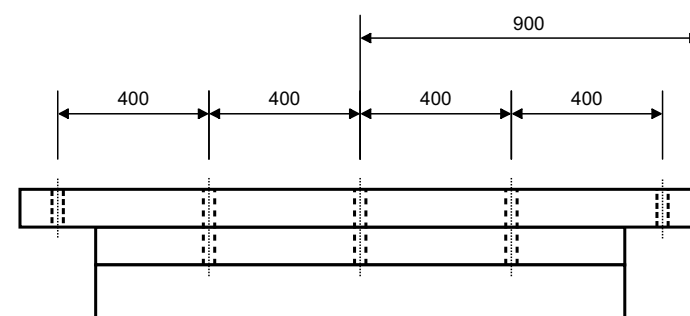
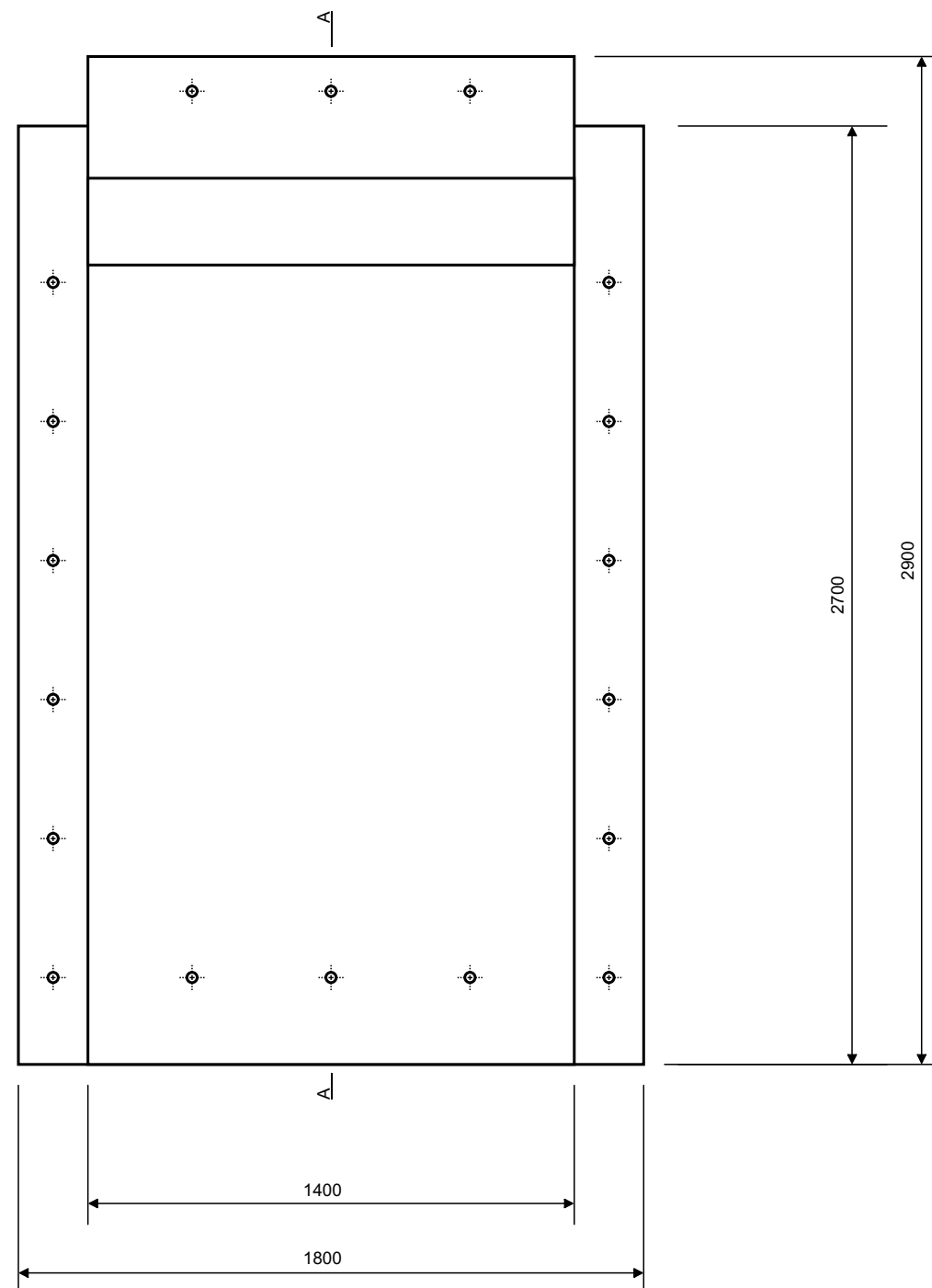
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO
P-01 Losa de cimentación

ESCALA NUMÉRICA
1 : 20 Cotas en mm

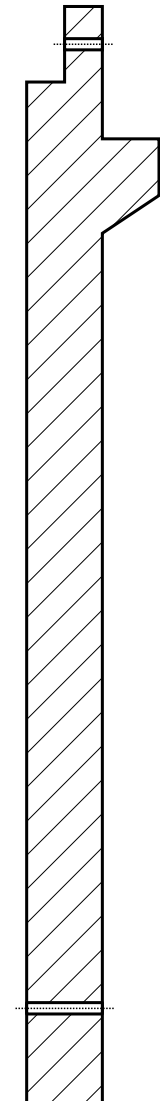
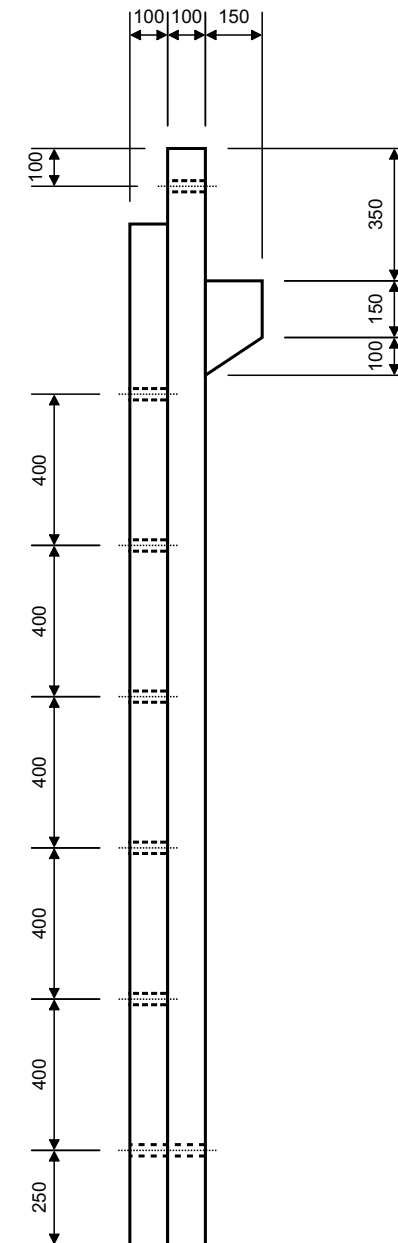


NOMBRE
C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa

FECHA
1 de marzo de 2017



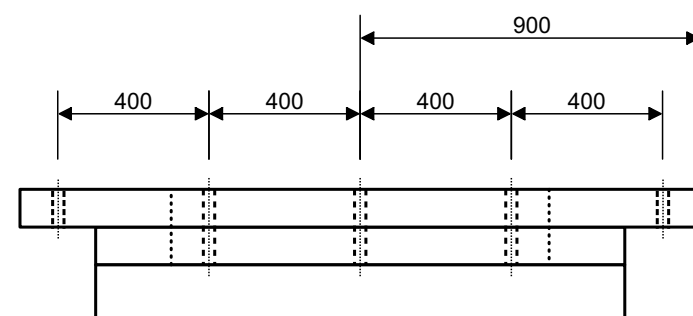
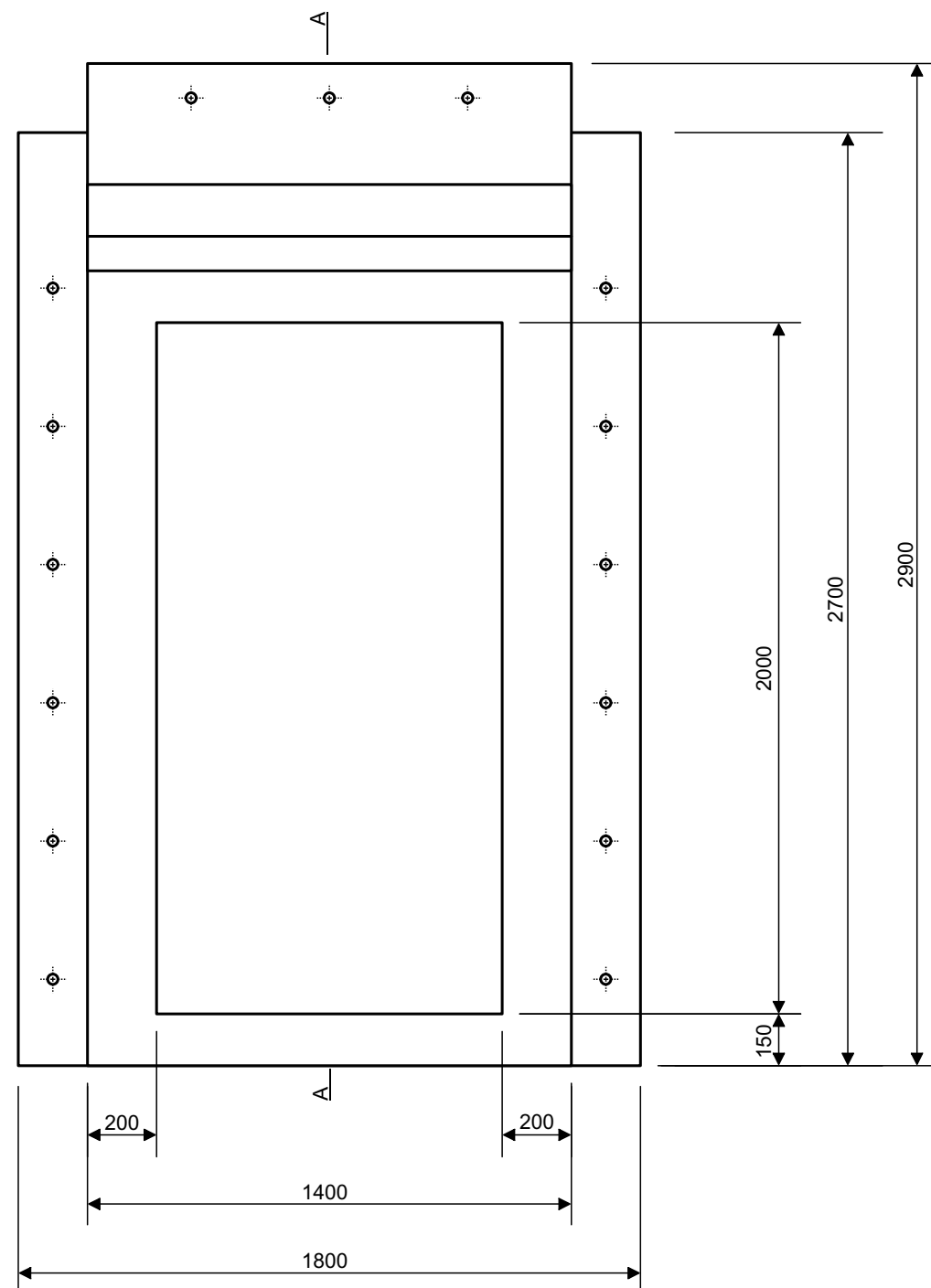
Todos los orificios son pasantes
y de 30 mm de diámetro



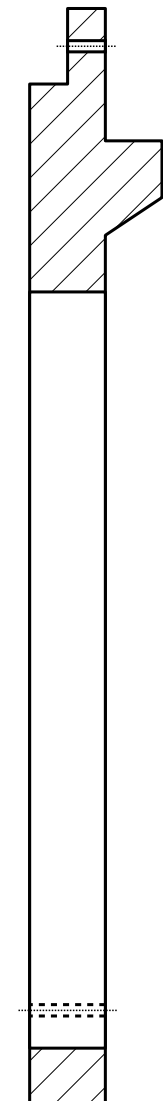
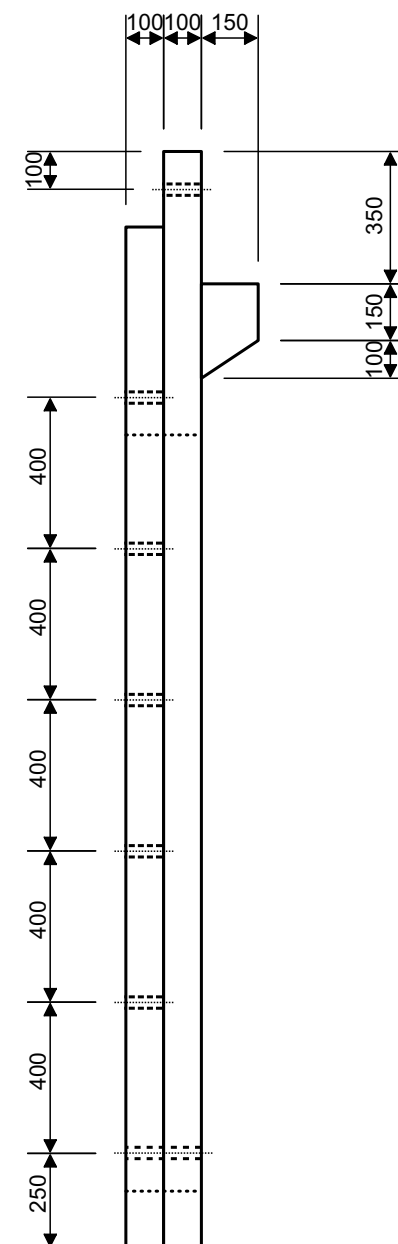
Sección A A

TÍTULO DEL PROYECTO	
TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO	
P-02 Pared tipo 1	
ESCALA NUMÉRICA	
1 : 20 Cotas en mm	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE	FECHA
C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	1 de marzo de 2017





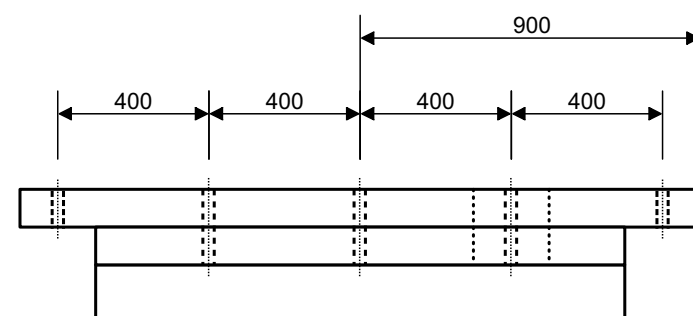
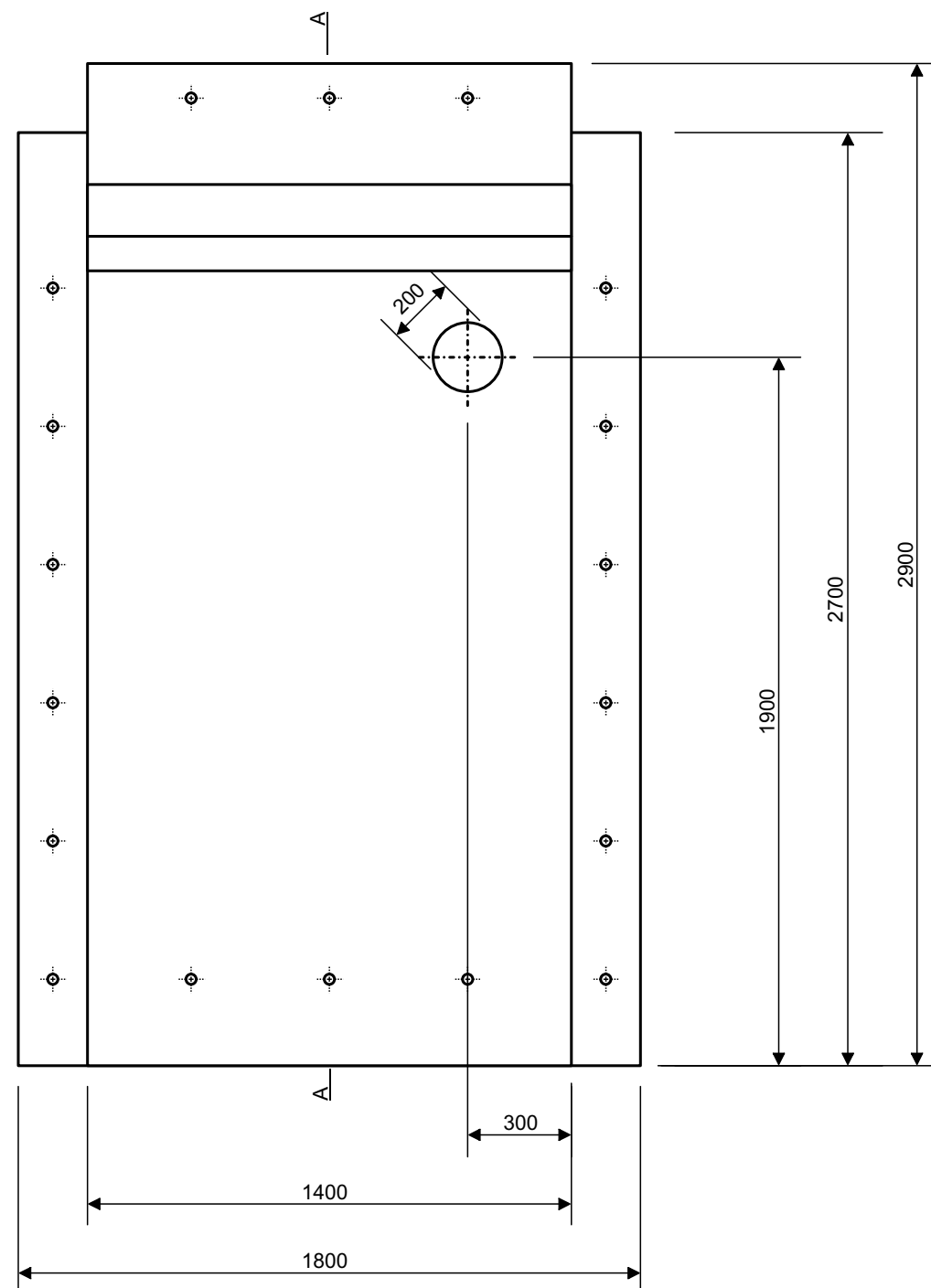
Todos los orificios son pasantes
y de 30 mm de diámetro



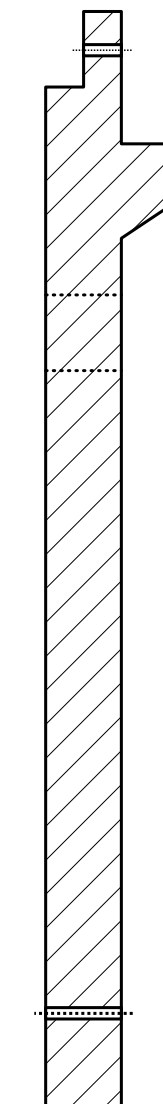
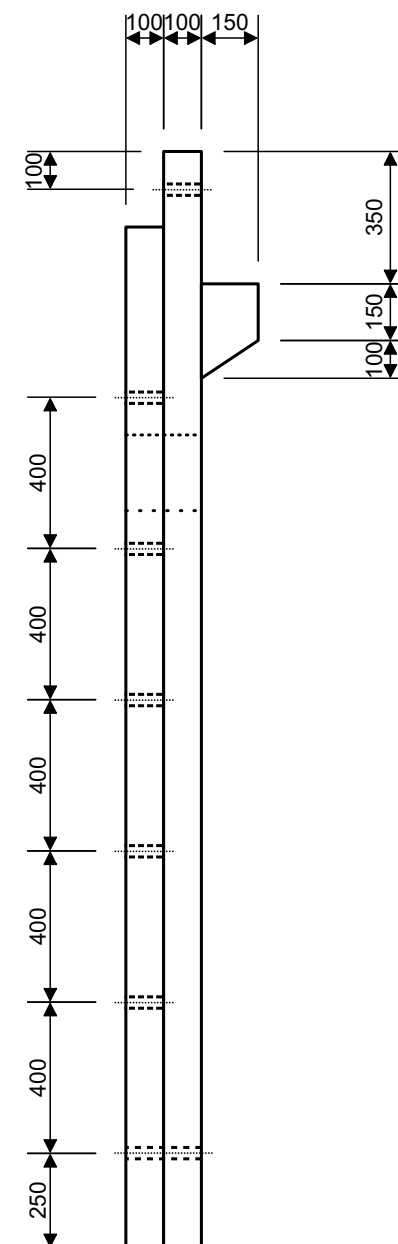
Sección A A

TÍTULO DEL PROYECTO	
TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO	
P-03 Pared tipo 2	
ESCALA NUMÉRICA	
1 : 20 Cotas en mm	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE	FECHA
C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	1 de marzo de 2017





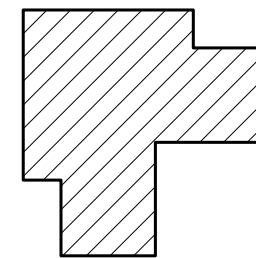
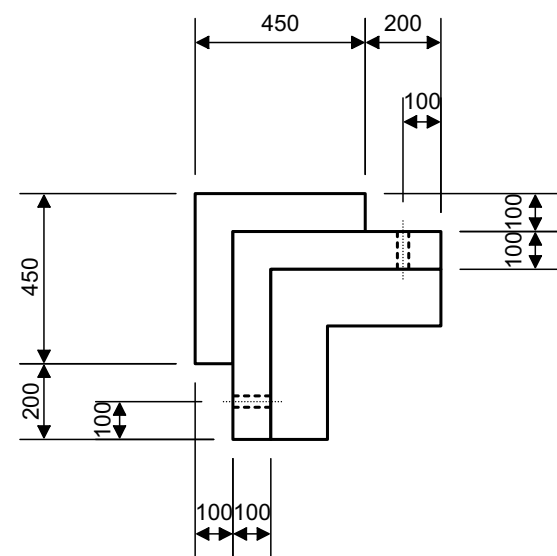
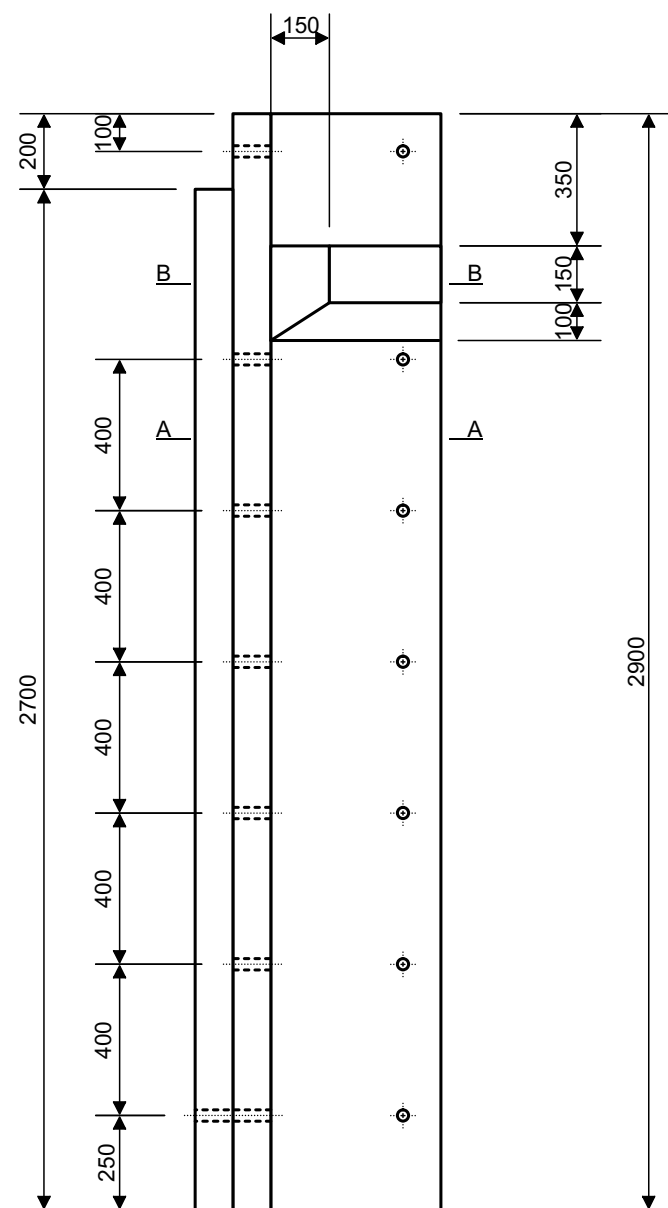
Todos los orificios son pasantes
y de 30 mm de diámetro



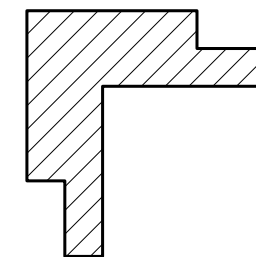
Sección A A

TÍTULO DEL PROYECTO	
TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO	
P-04 Pared tipo 3	
ESCALA NUMÉRICA	
1 : 20 Cotas en mm	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE	FECHA
C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	1 de marzo de 2017





Sección B B

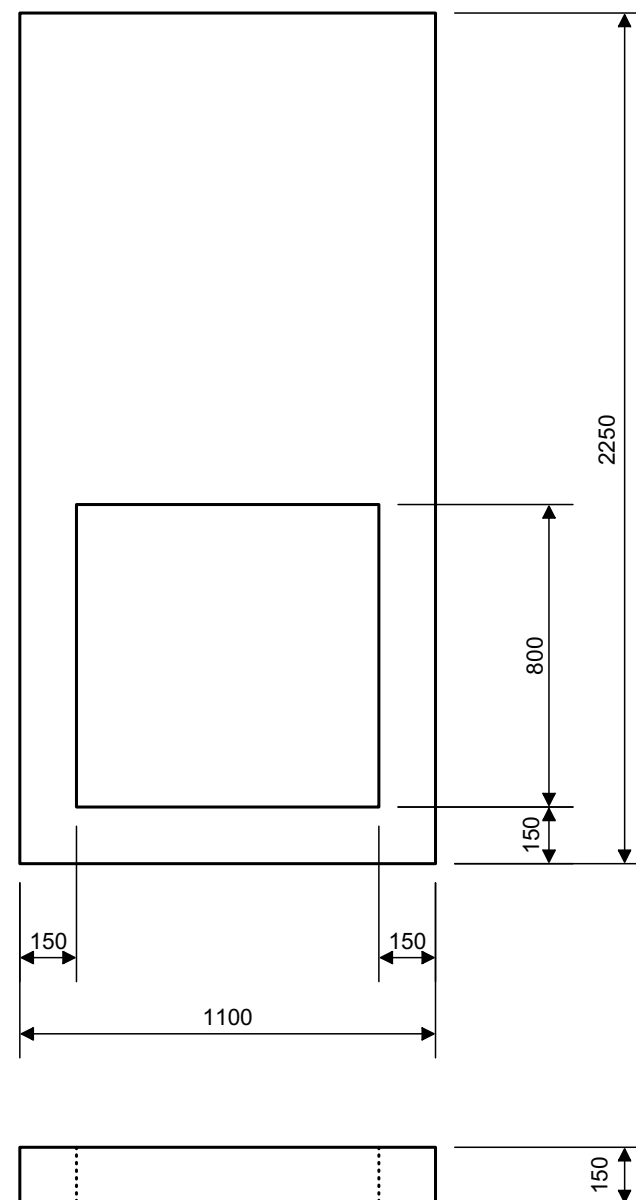
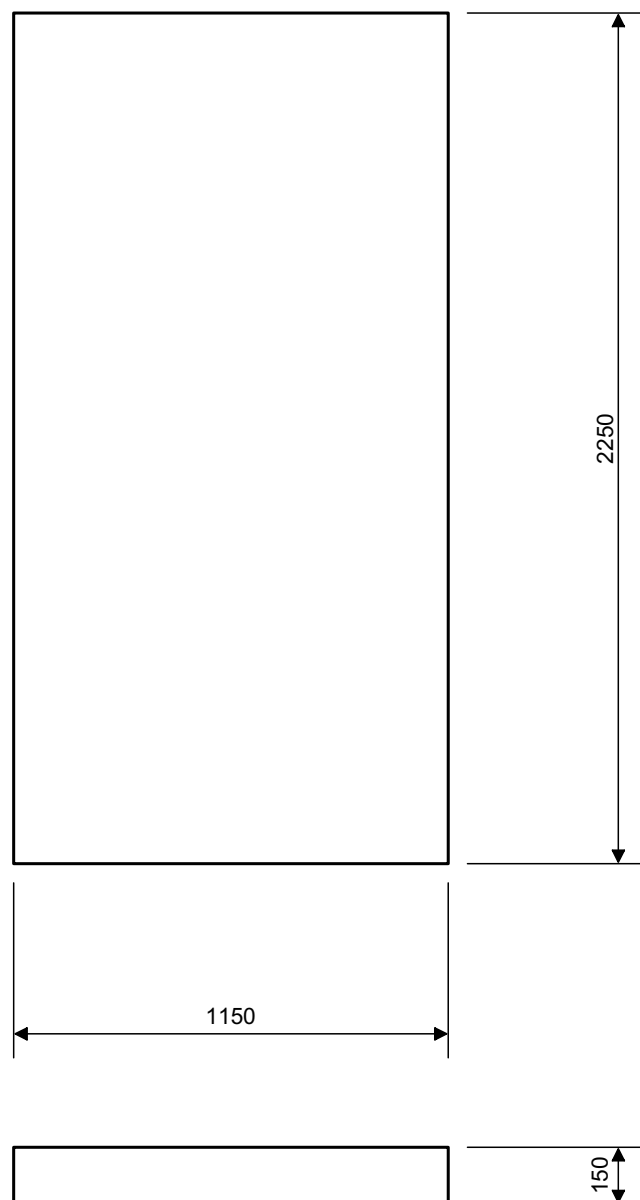


Sección A A

Todos los orificios son pasantes
y de 30 mm de diámetro

TÍTULO DEL PROYECTO	
TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO	
P-05 Esquina tipo 1	
ESCALA NUMÉRICA	
1 : 20 Cotas en mm	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE	FECHA
C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	1 de marzo de 2017





TÍTULO DEL PROYECTO
TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA

NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO
P-06 Forjado piso intermedio

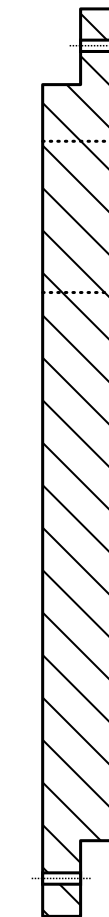
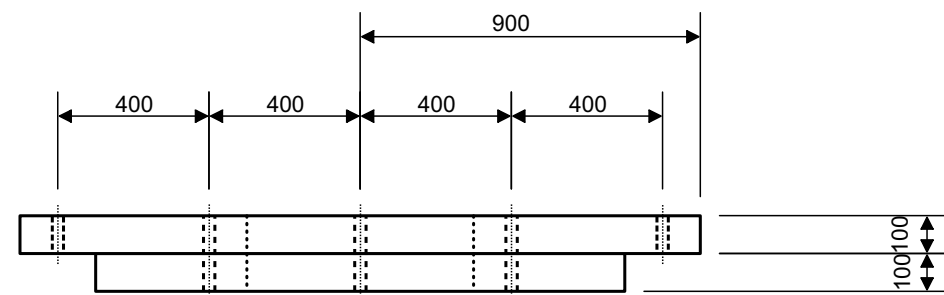
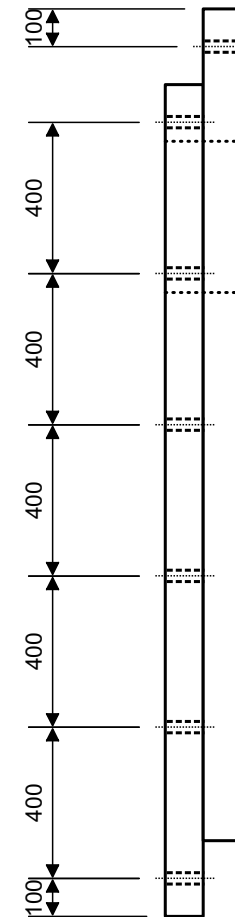
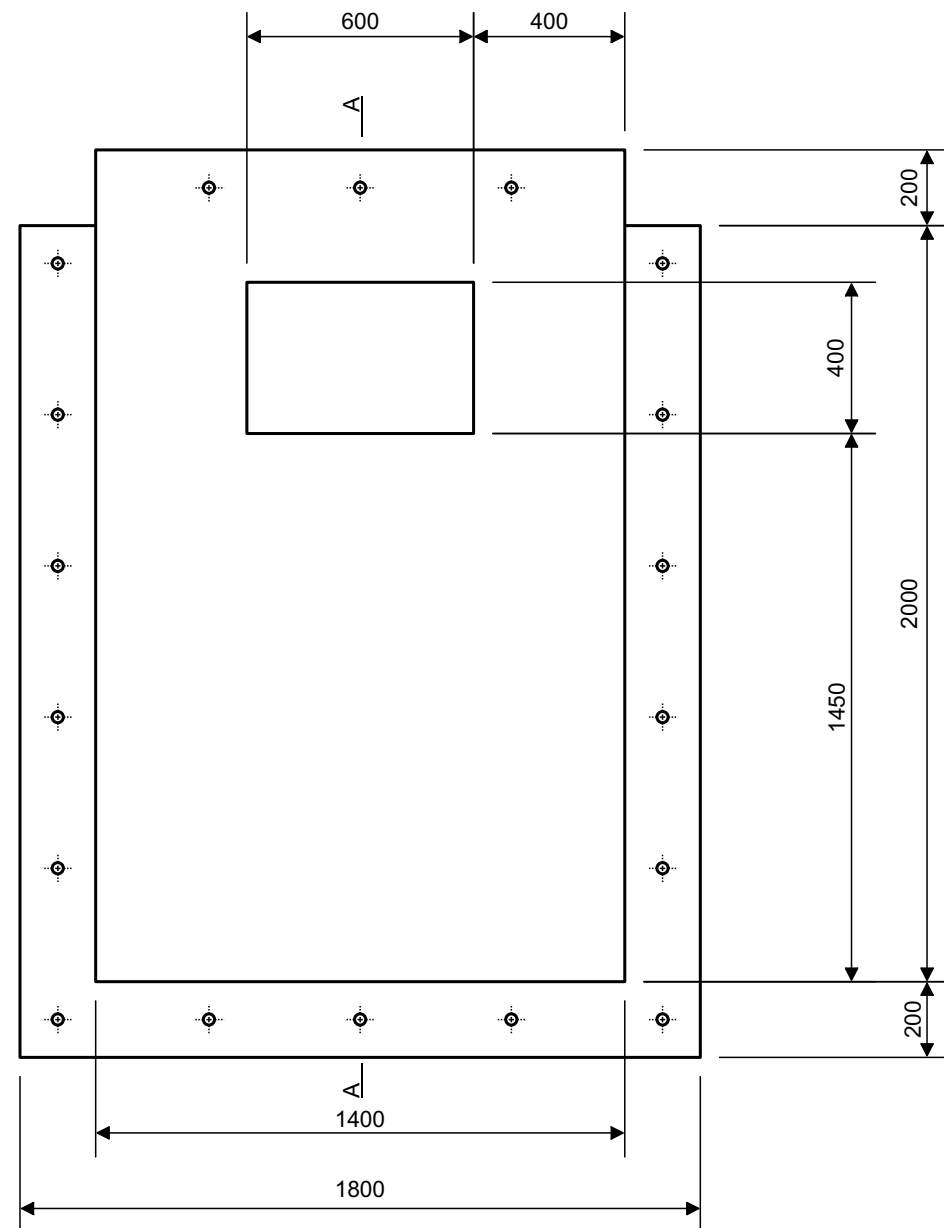
ESCALA NUMÉRICA
1 : 20 Cotas en mm

ESCALA GRÁFICA
0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 m




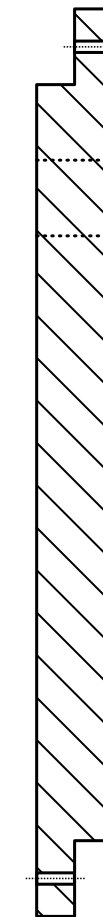
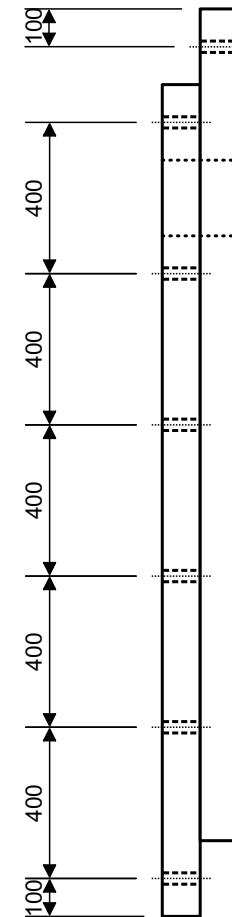
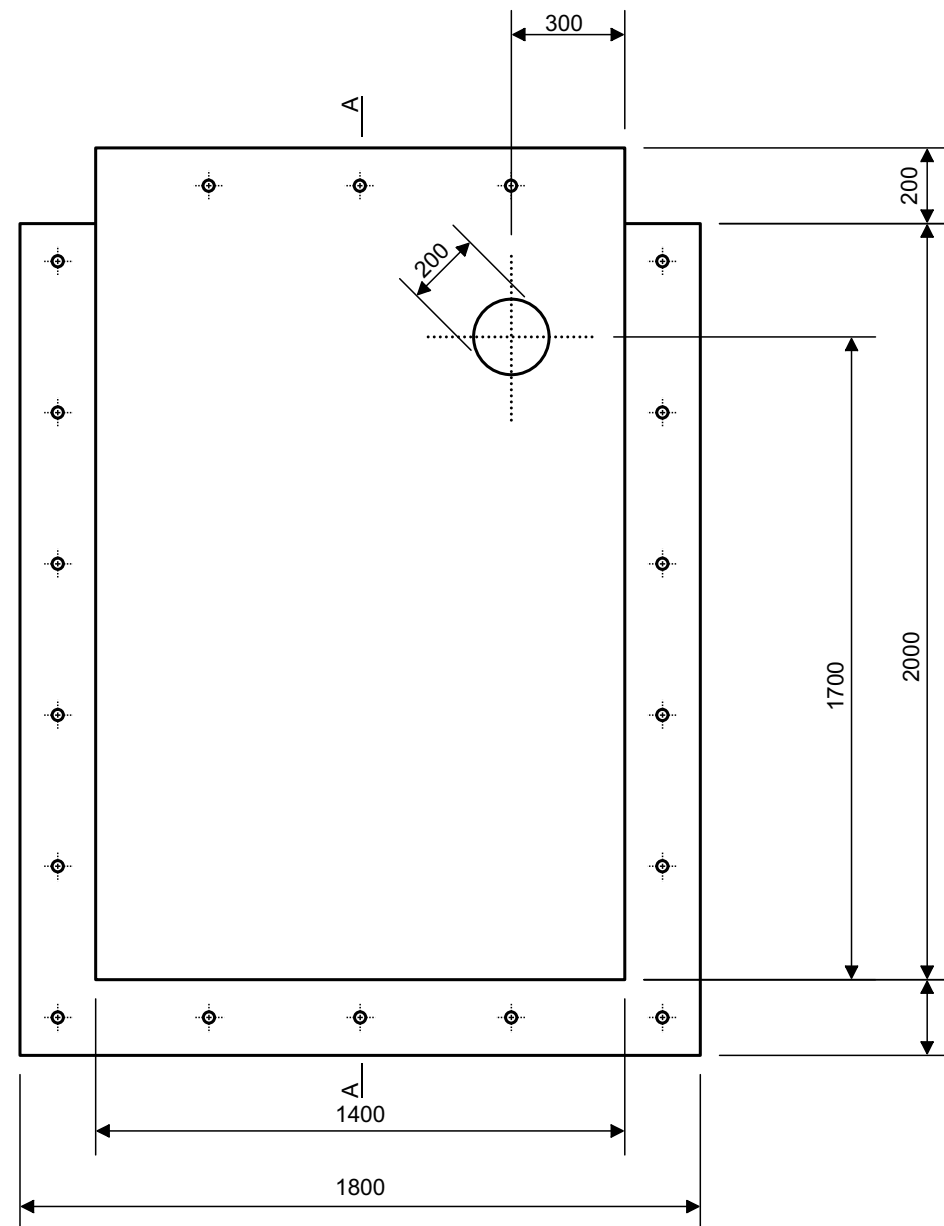
NOMBRE
C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa

FECHA
1 de marzo de 2017

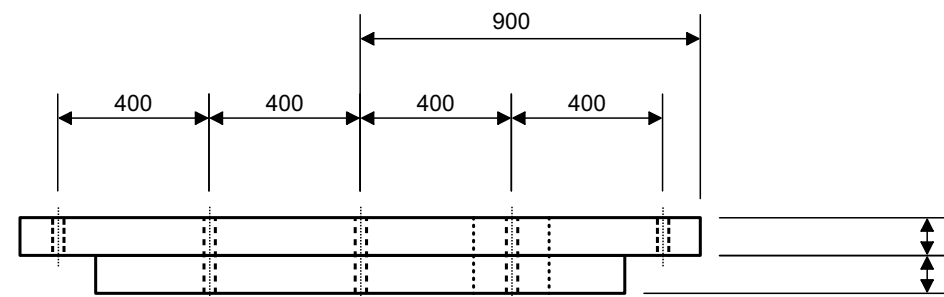


Sección A A

TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO P-07 Pared tipo 4	
ESCALA NUMÉRICA 1 : 20 Cotas en mm	
ESCALA GRÁFICA 0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 m	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017



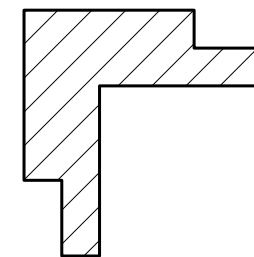
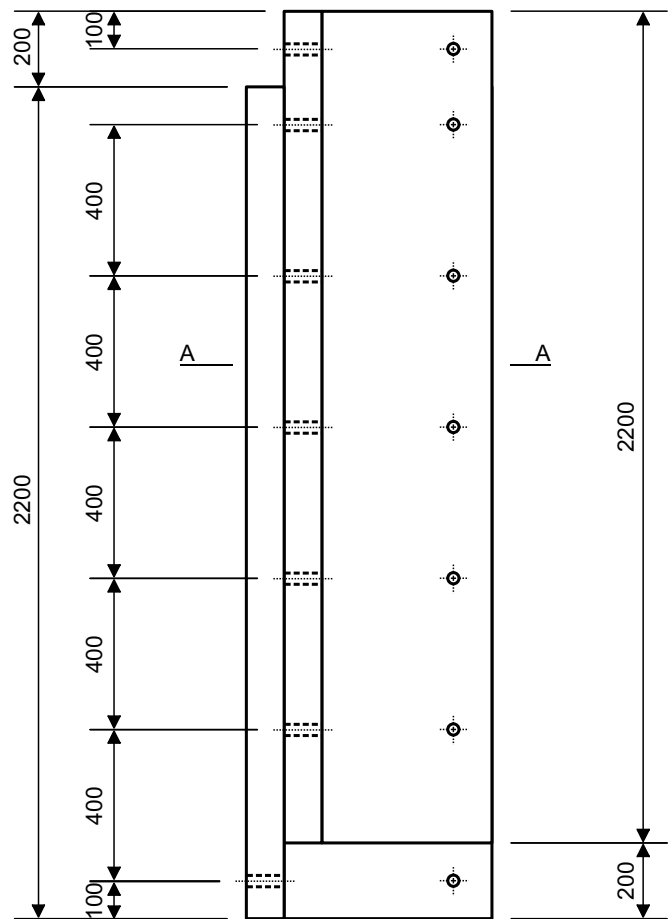
Sección A A



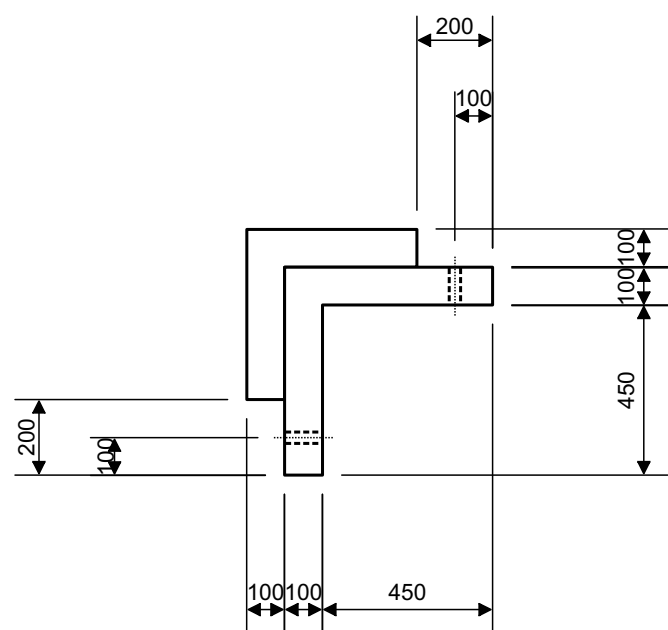
Todos los orificios son pasantes
y de 30 mm de diámetro

TÍTULO DEL PROYECTO	
TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO	
P-08 Pared tipo 5	
ESCALA NUMÉRICA	
1 : 20 Cotas en mm	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE	FECHA
C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	1 de marzo de 2017



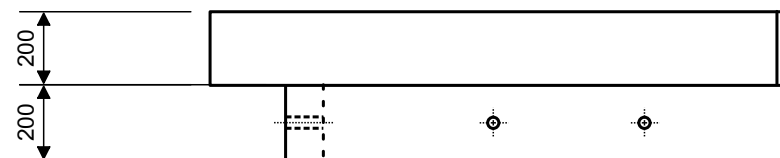
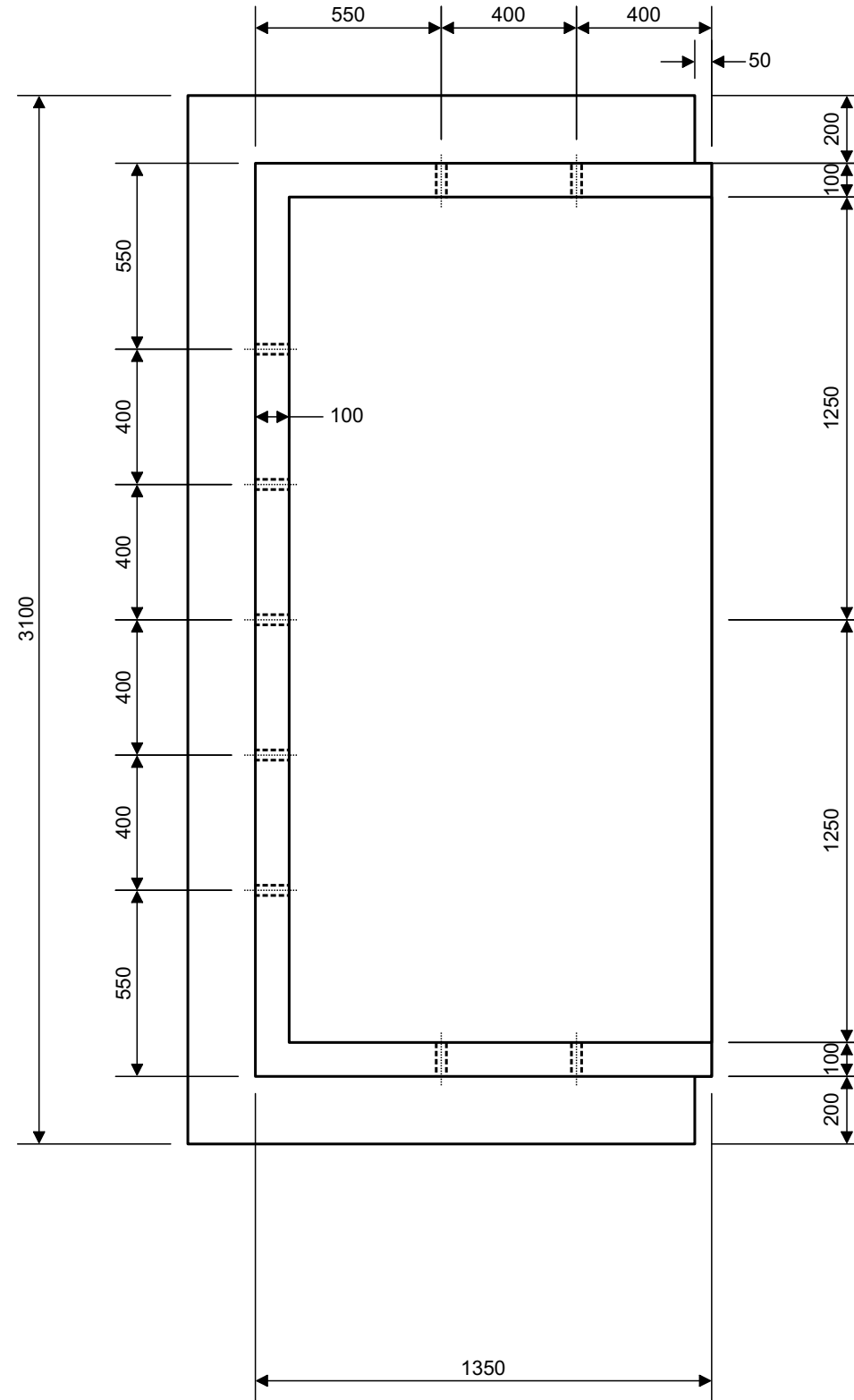
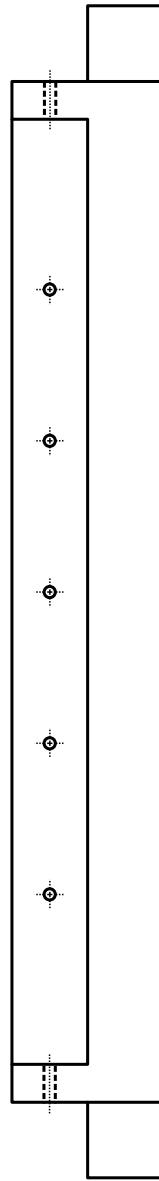


Sección A A



Todos los orificios son pasantes
y de 30 mm de diámetro

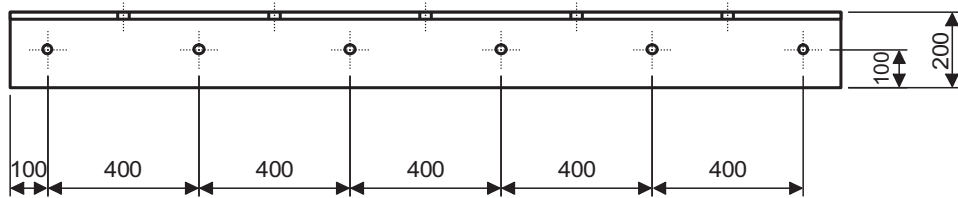
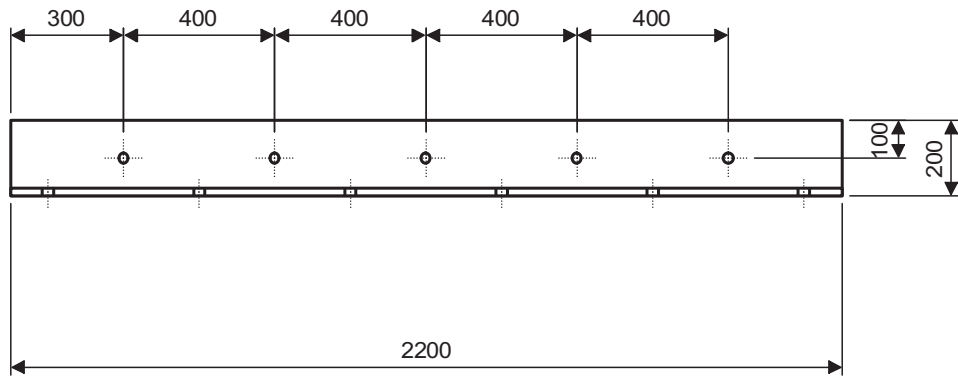
TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO P-09 Esquina tipo 2	
ESCALA NUMÉRICA 1 : 20 Cotas en mm	
ESCALA GRÁFICA 0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 m	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017



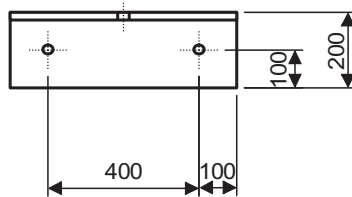
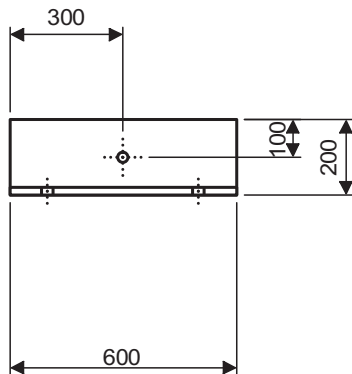
Todos los orificios son pasantes
y de 30 mm de diámetro

TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO P-10 Semicubierta	
ESCALA NUMÉRICA 1 : 20 Cotas en mm	
ESCALA GRÁFICA 	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017

Perfil L 200-20



Todos los orificios son pasantes
de 26 mm de diámetro



TÍTULO DEL PROYECTO

TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA

NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO

Perfiles de unión pared-losa

ESCALA NUMÉRICA

1 : 20 Cotas en mm

ESCALA GRÁFICA

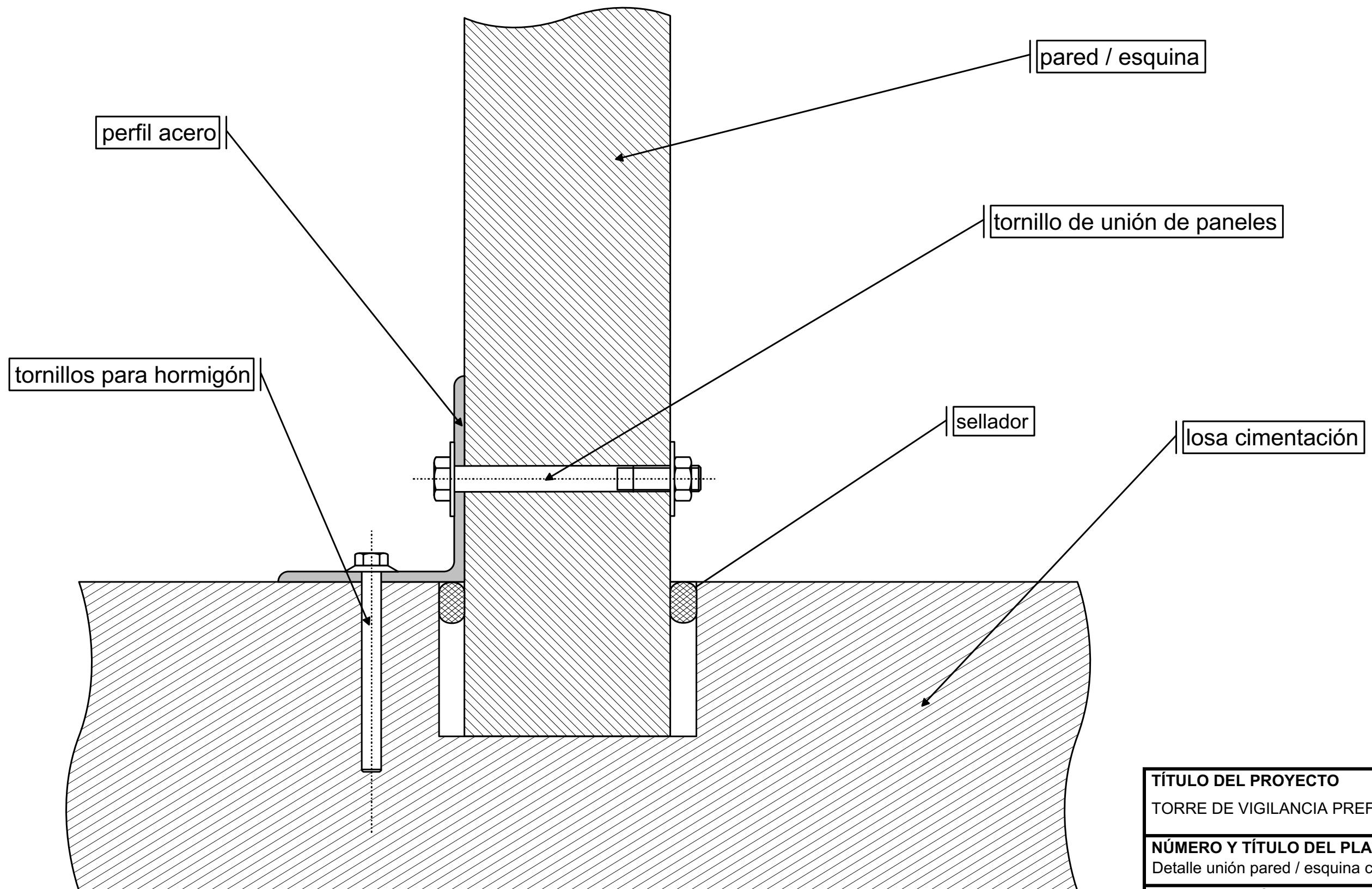


NOMBRE

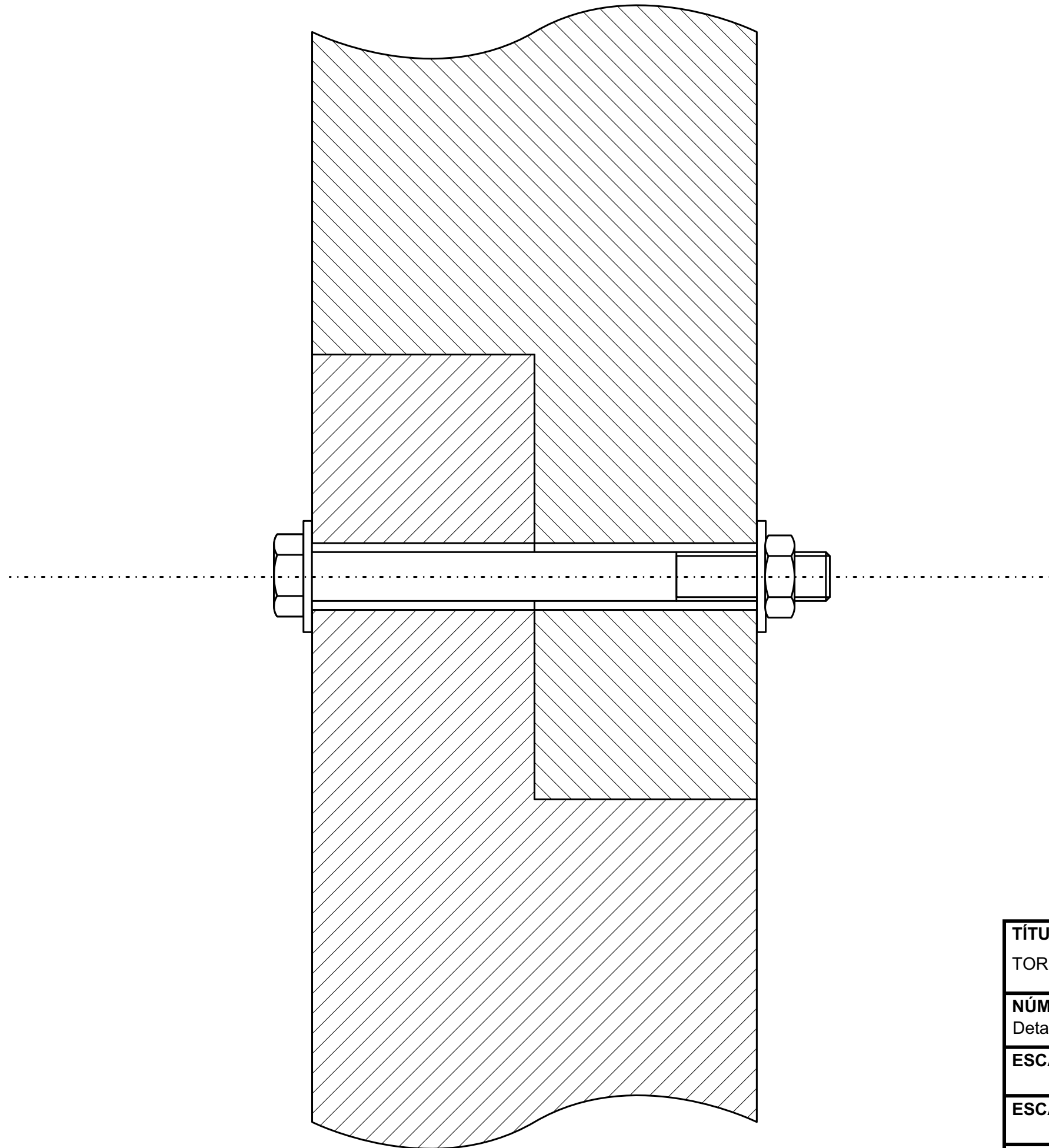
C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa

FECHA

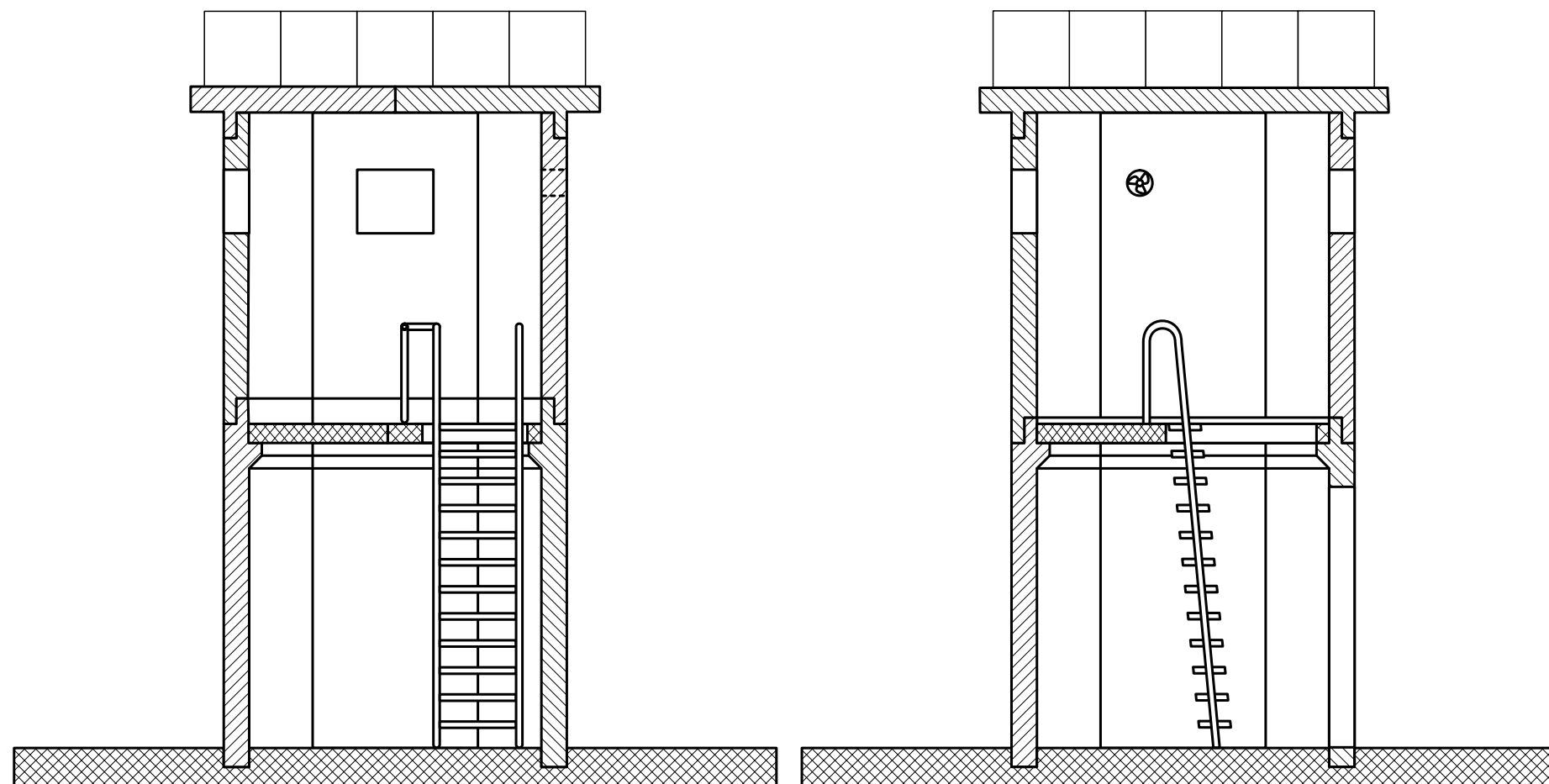
1 de marzo de 2017



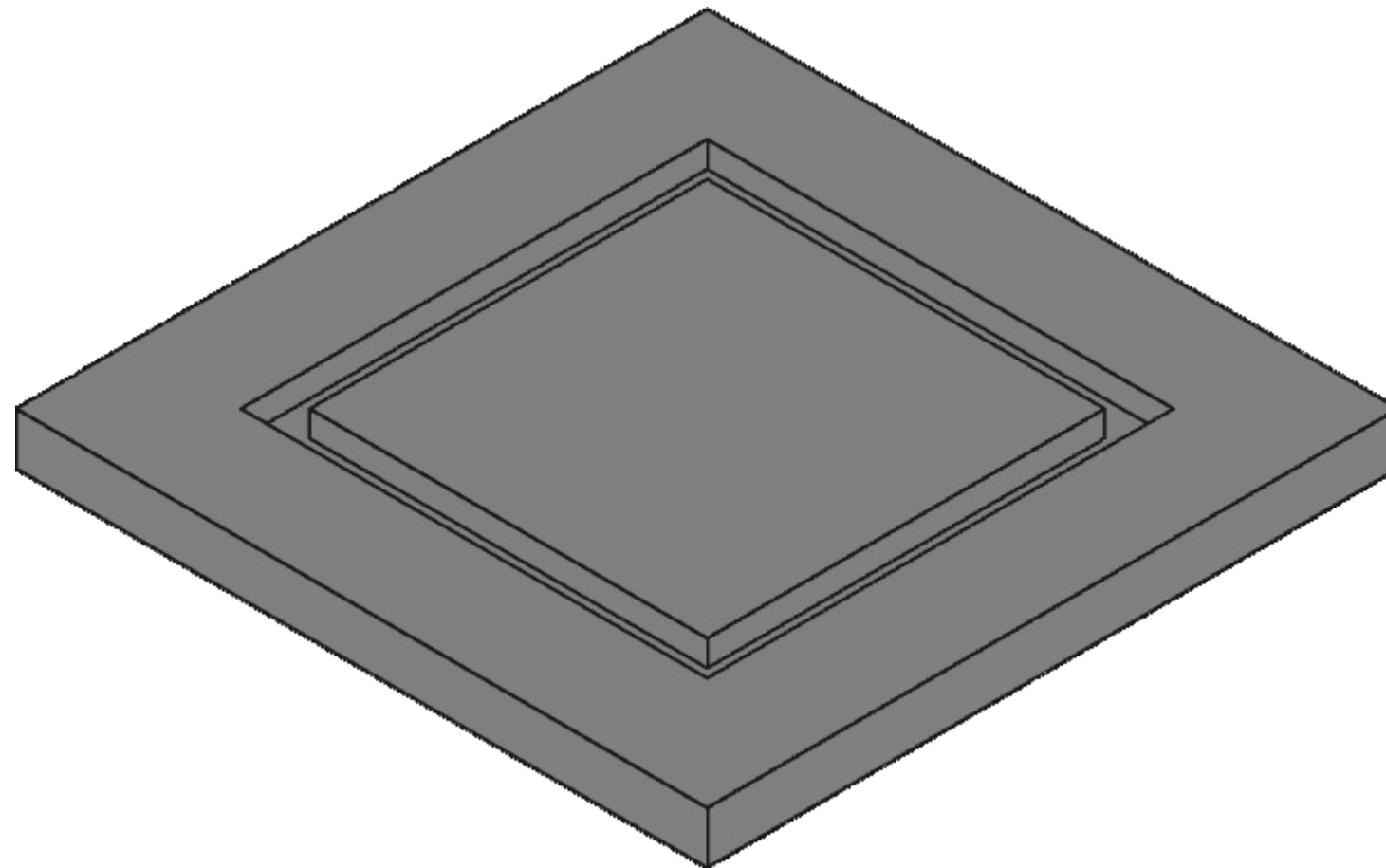
TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO Detalle unión pared / esquina con losa	
ESCALA NUMÉRICA	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017



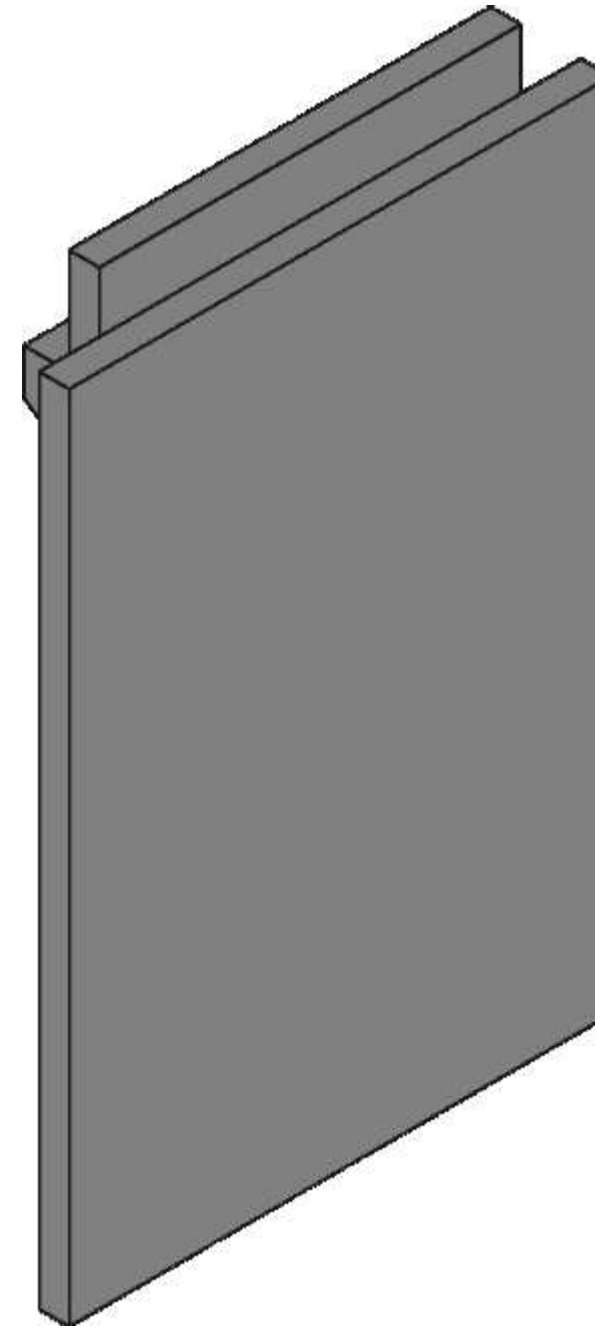
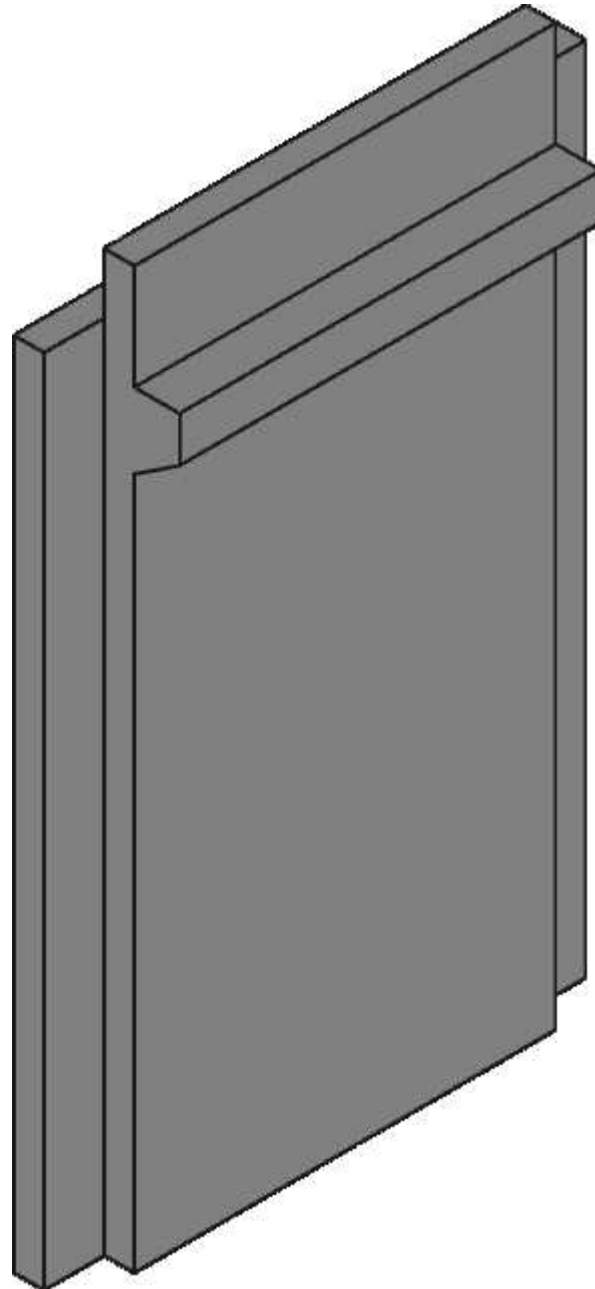
TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO Detalle unión entre paredes y esquinas	
ESCALA NUMÉRICA	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017



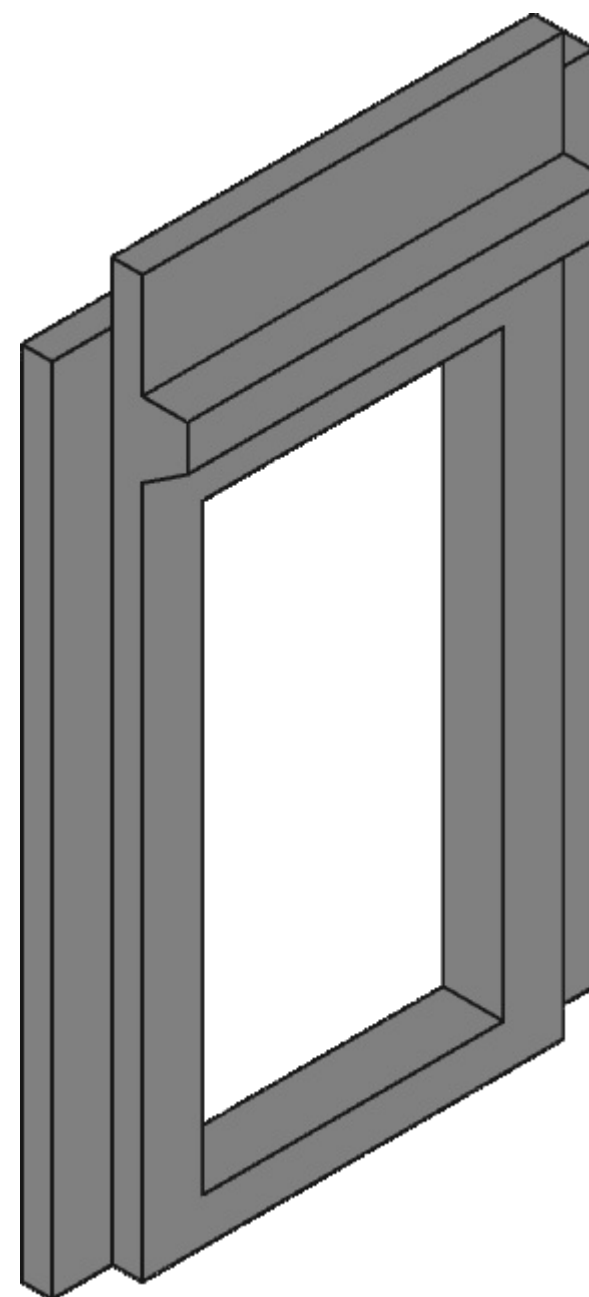
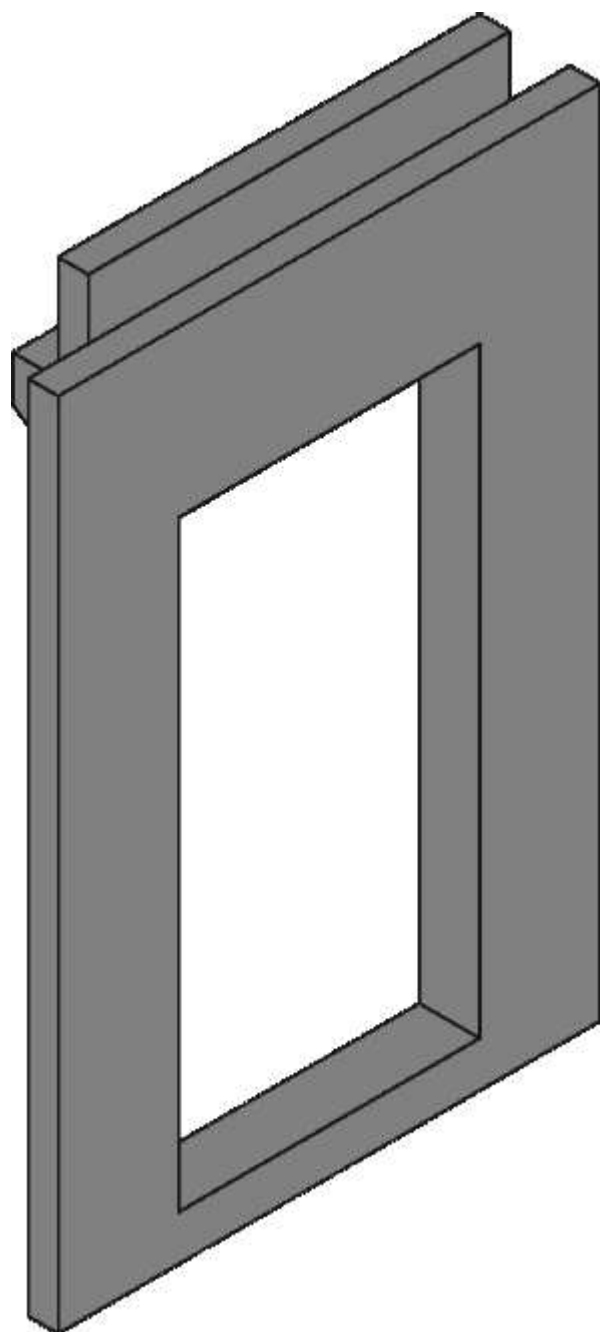
TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO Sección vertical	
ESCALA NUMÉRICA 1 : 50 Cotas en mm	
ESCALA GRÁFICA 	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017



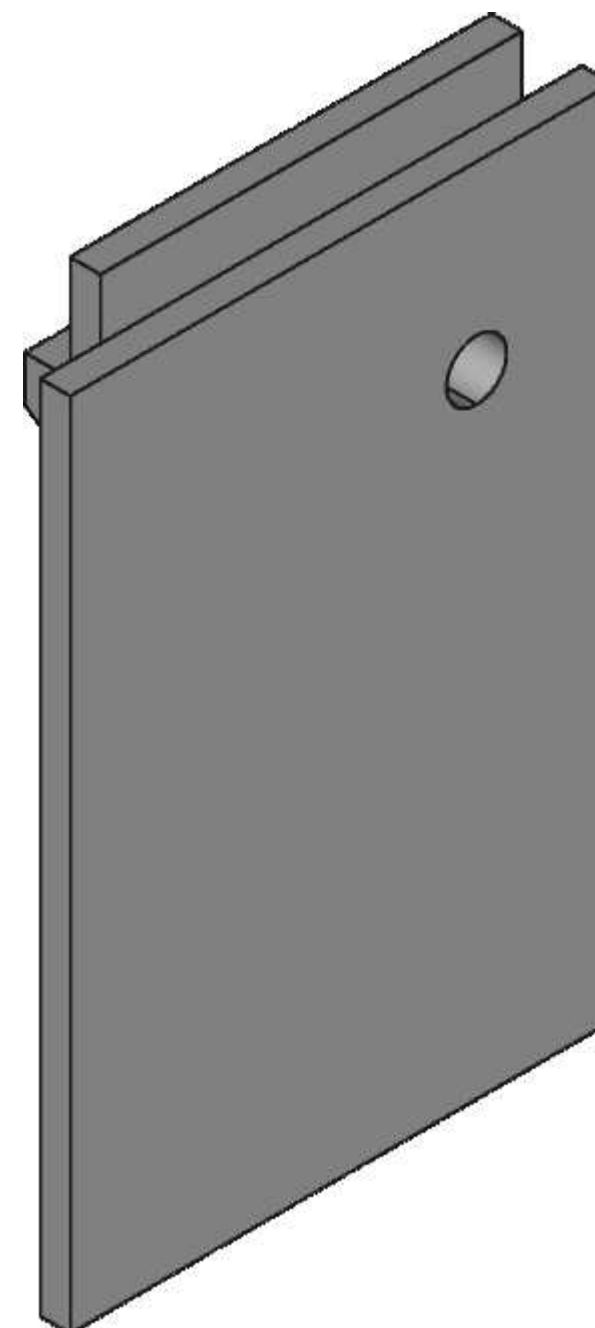
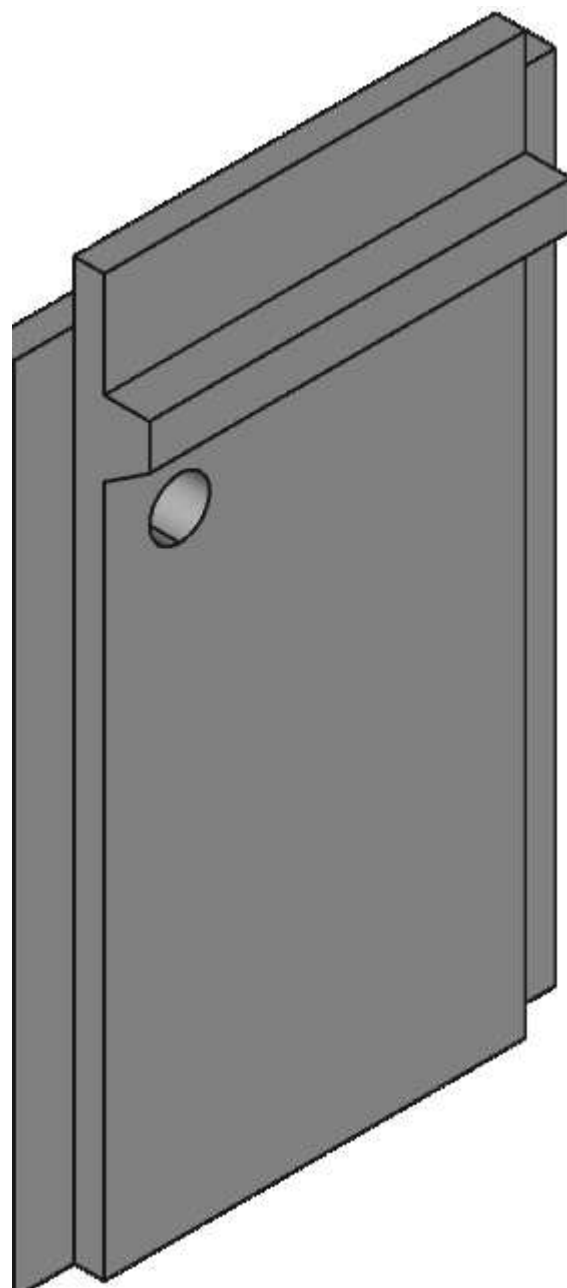
TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO Losa de cimentación (perspectiva)	
ESCALA NUMÉRICA	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017




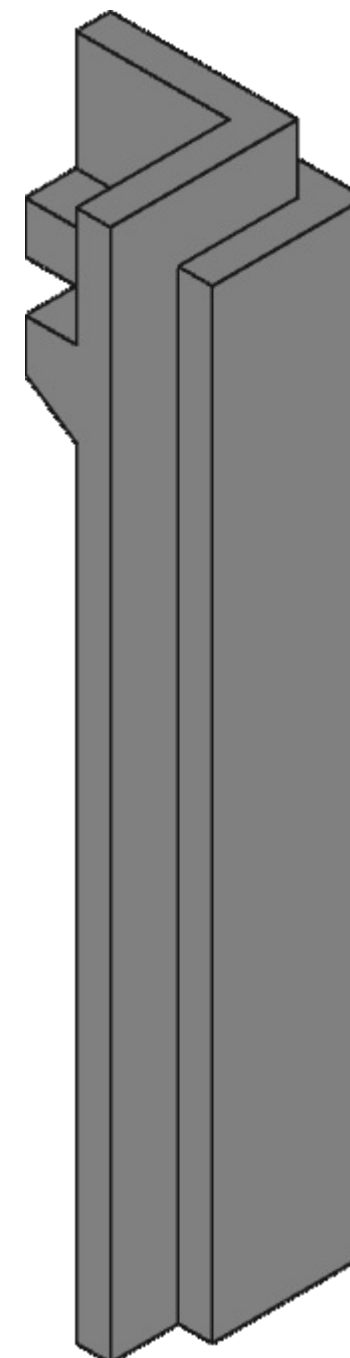
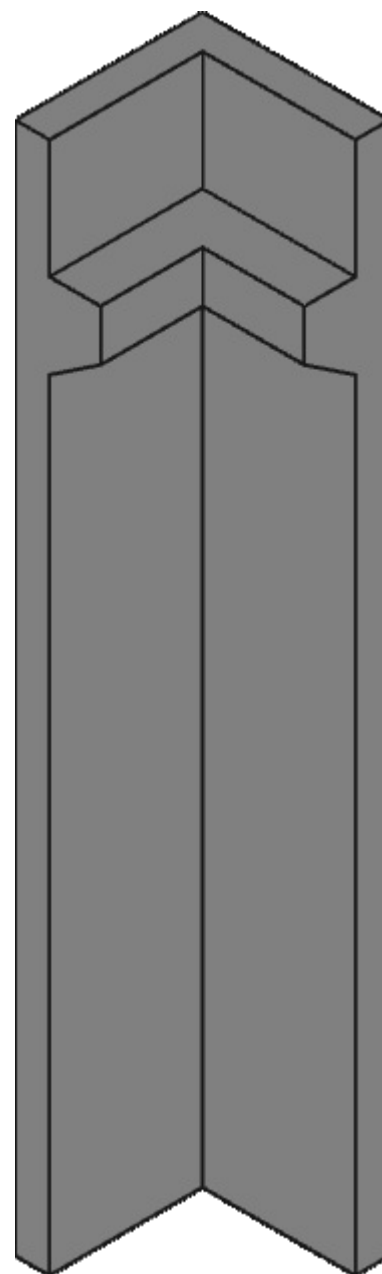
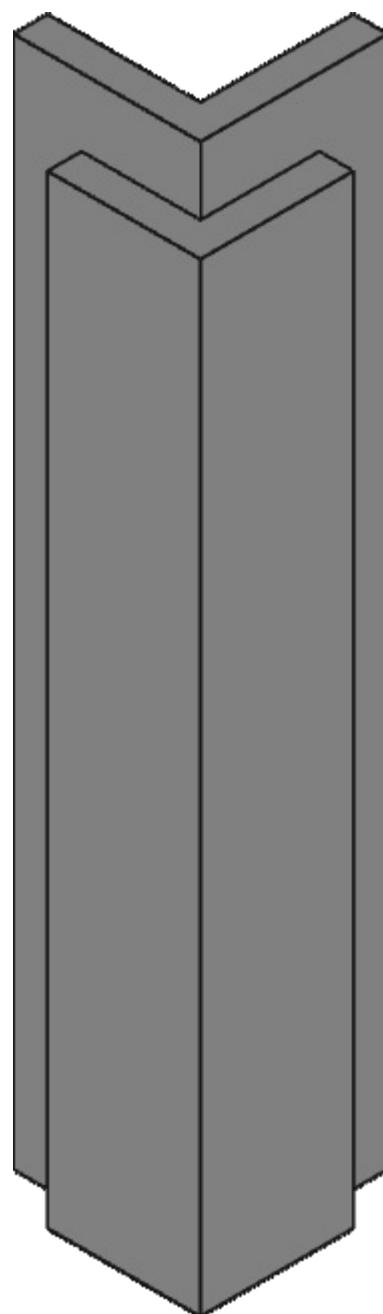
TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO Pared tipo 1 (perspectiva)	
ESCALA NUMÉRICA	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017



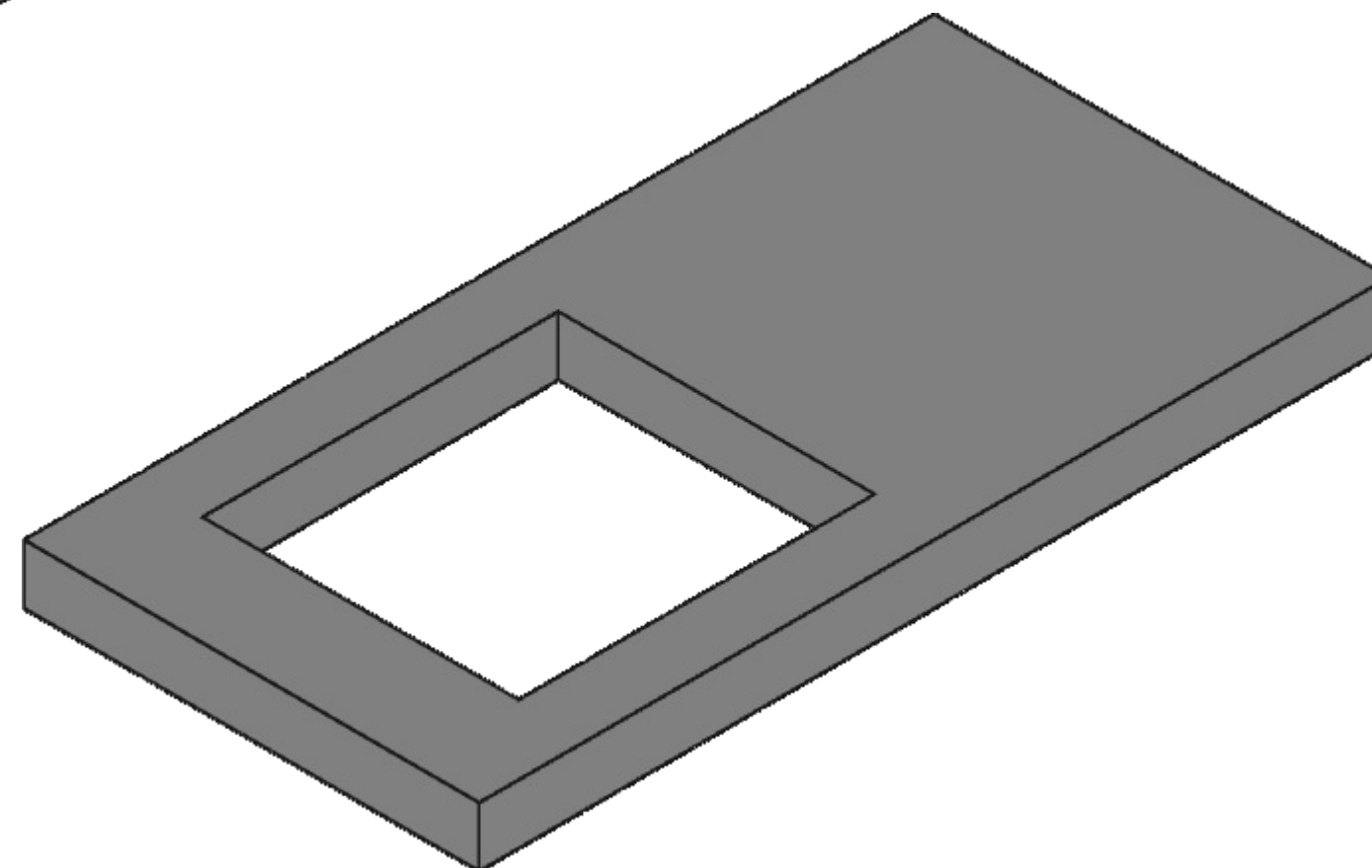
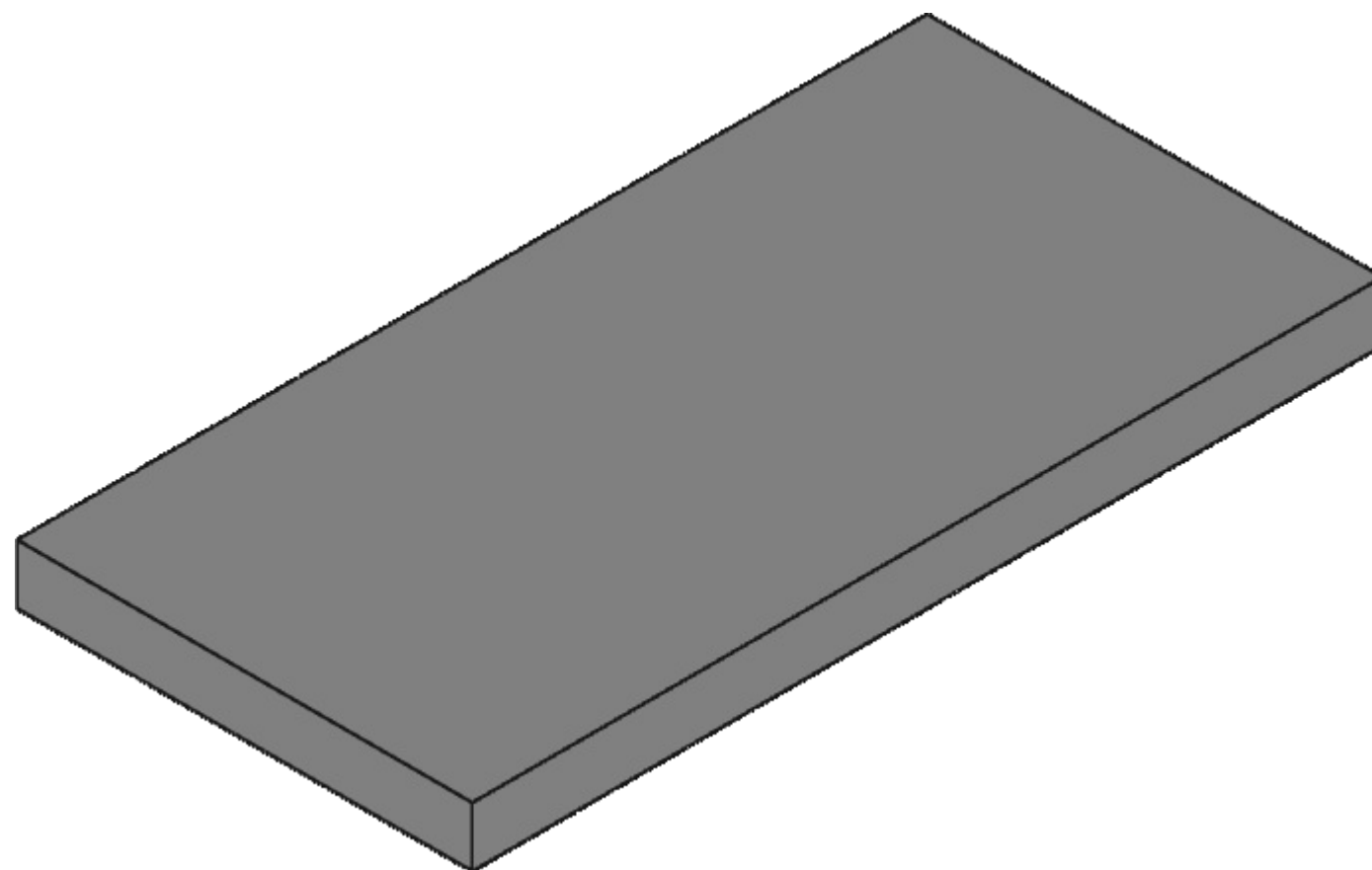
TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO Pared tipo 2 (perspectiva)	
ESCALA NUMÉRICA	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017




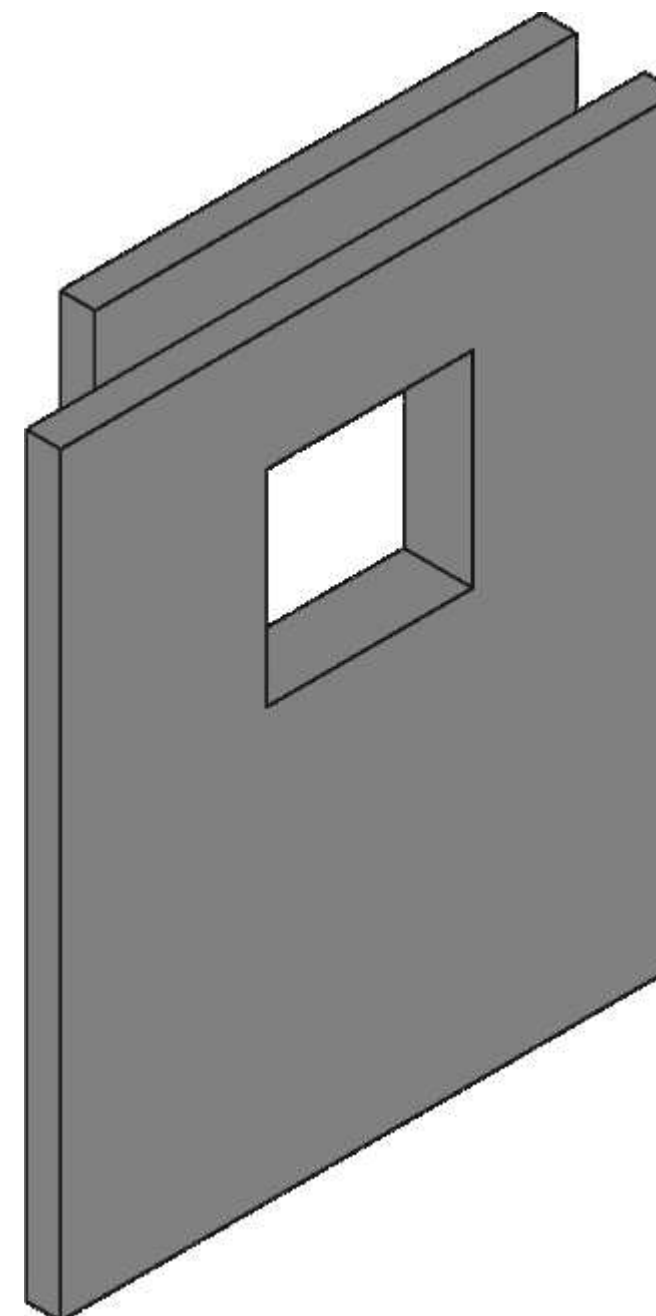
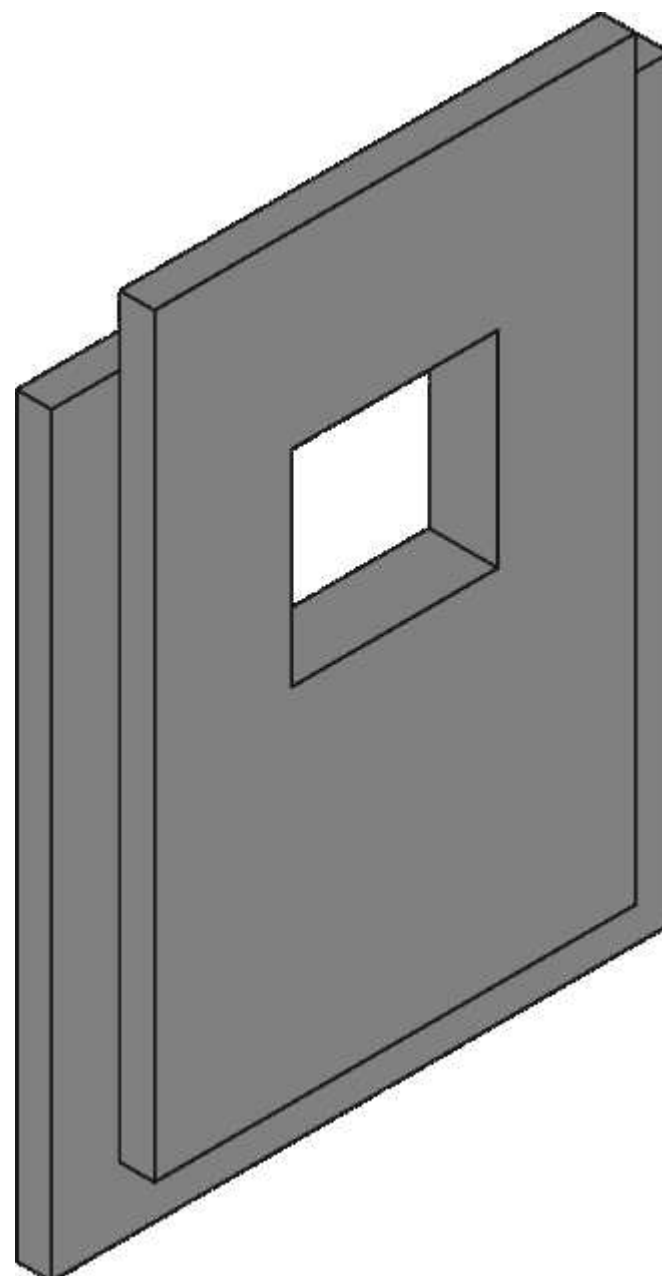
TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO Pared tipo 3 (perspectiva)	
ESCALA NUMÉRICA	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017




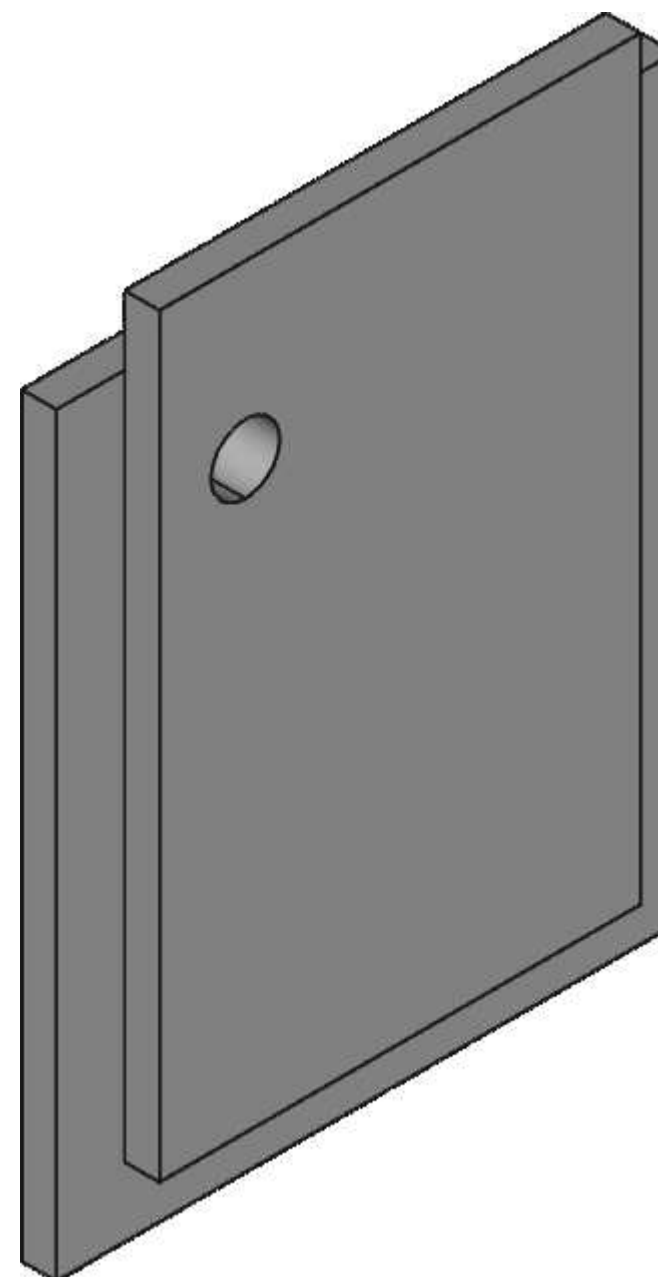
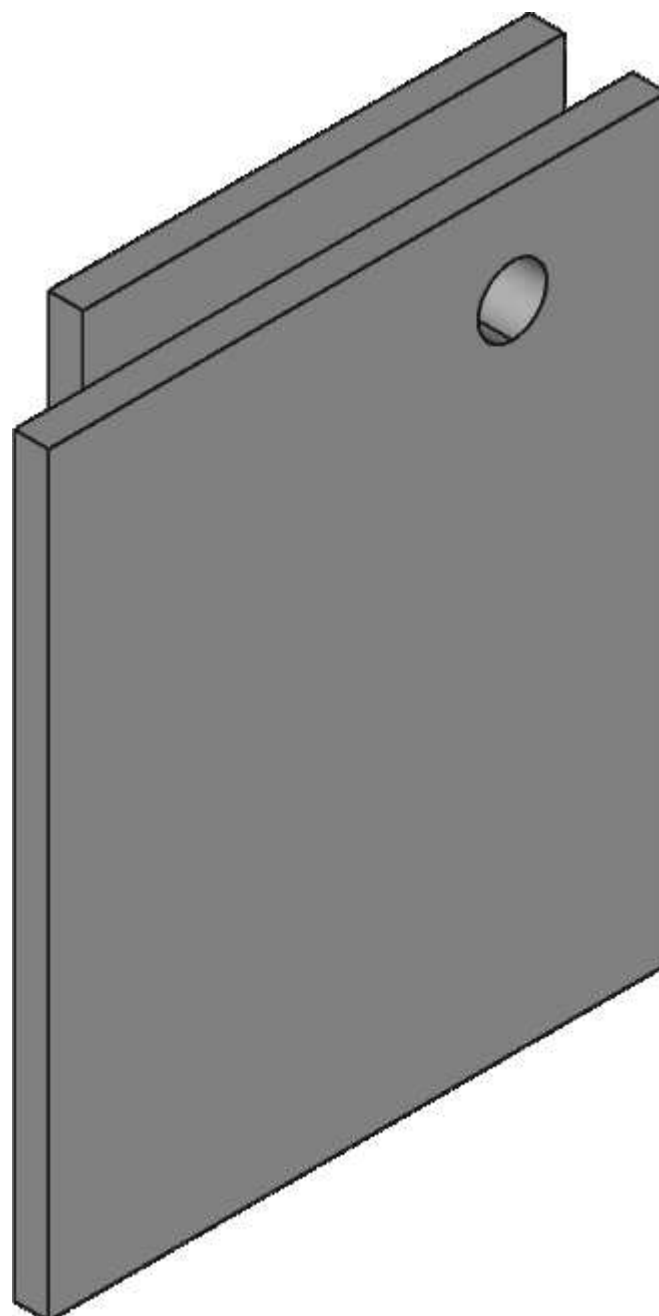
TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO Esquina tipo 1 (perspectiva)	
ESCALA NUMÉRICA	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017



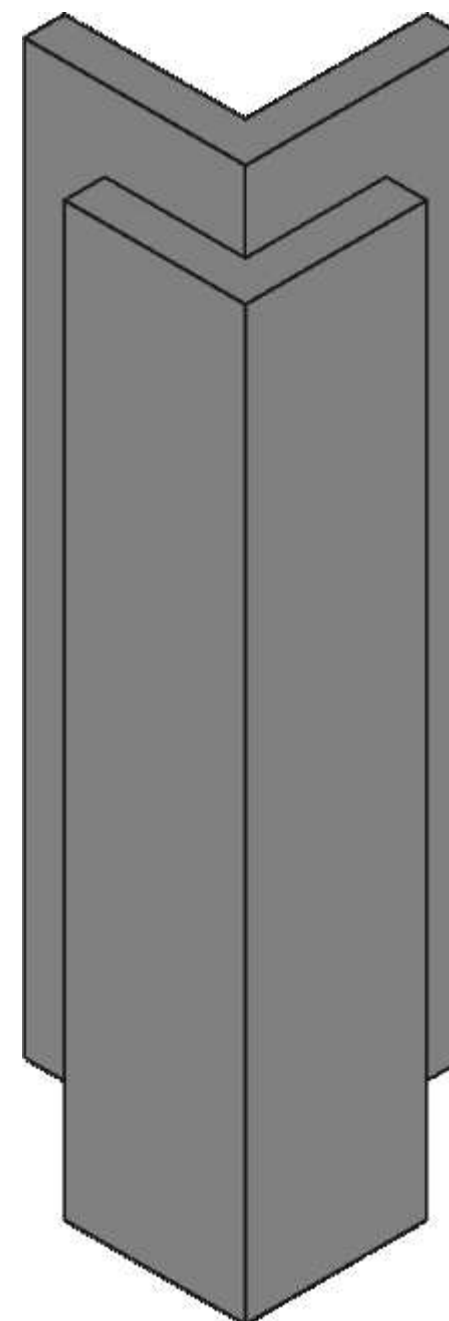
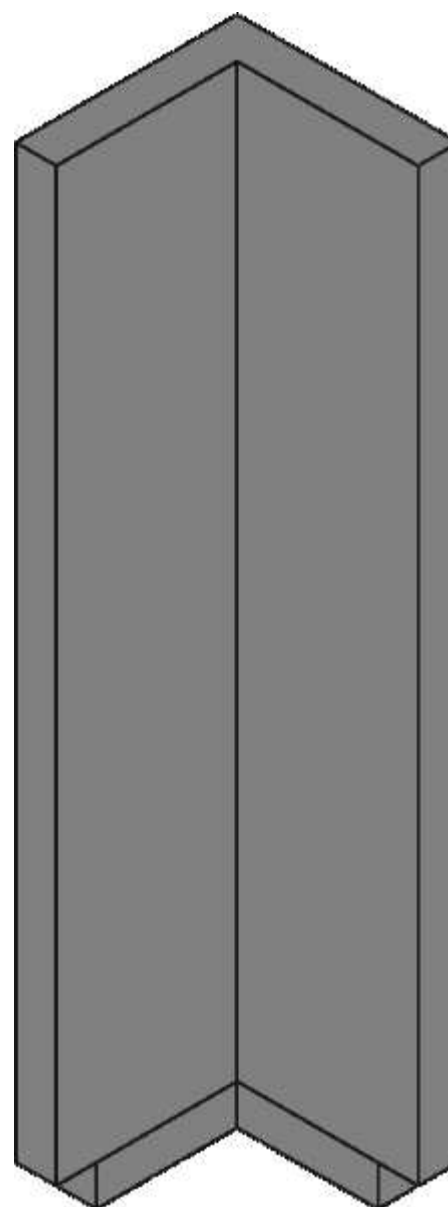
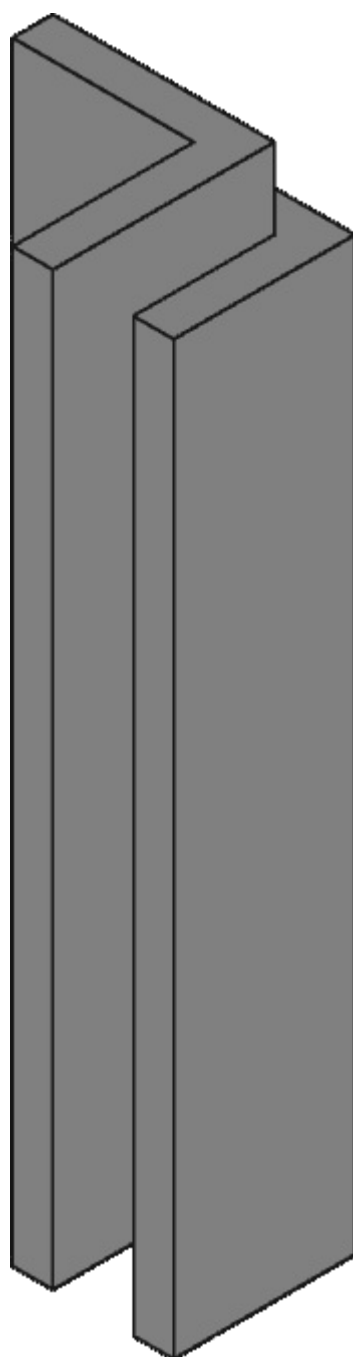
TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO Forjado piso intermedio (perspectiva)	
ESCALA NUMÉRICA	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017




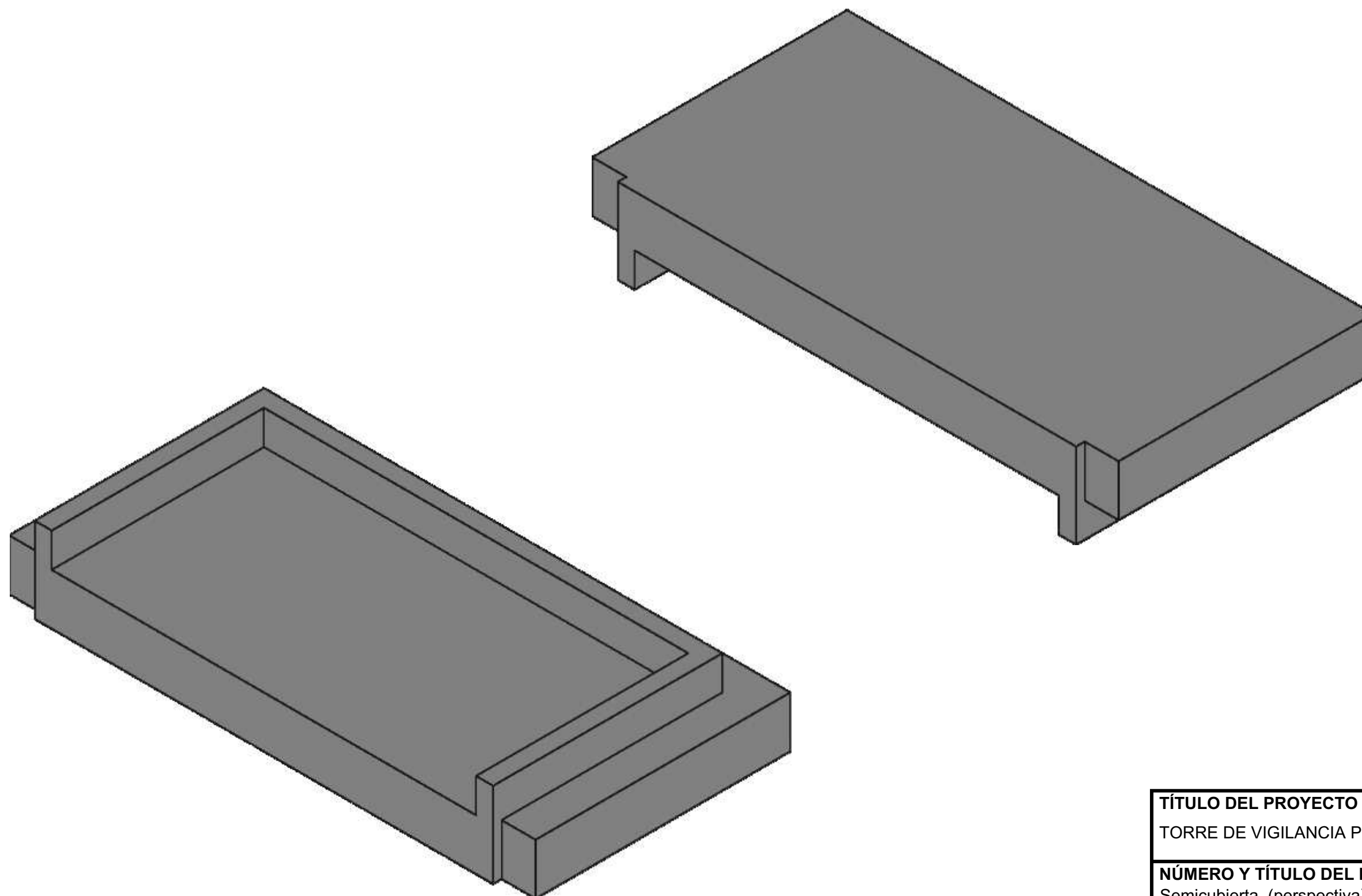
TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO Pared tipo 4 (perspectiva)	
ESCALA NUMÉRICA	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017



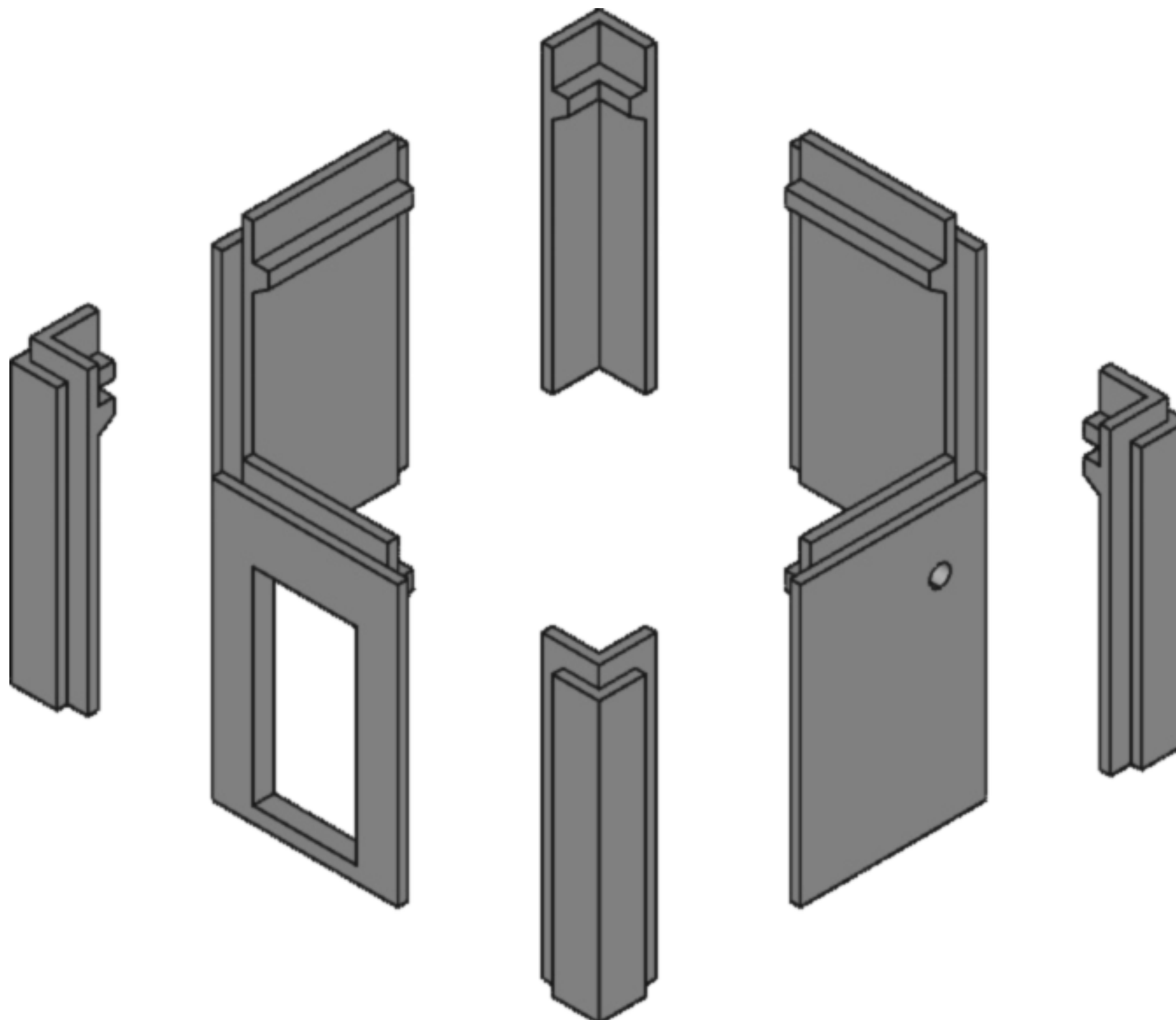
TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO Pared tipo 5 (perspectiva)	
ESCALA NUMÉRICA	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017




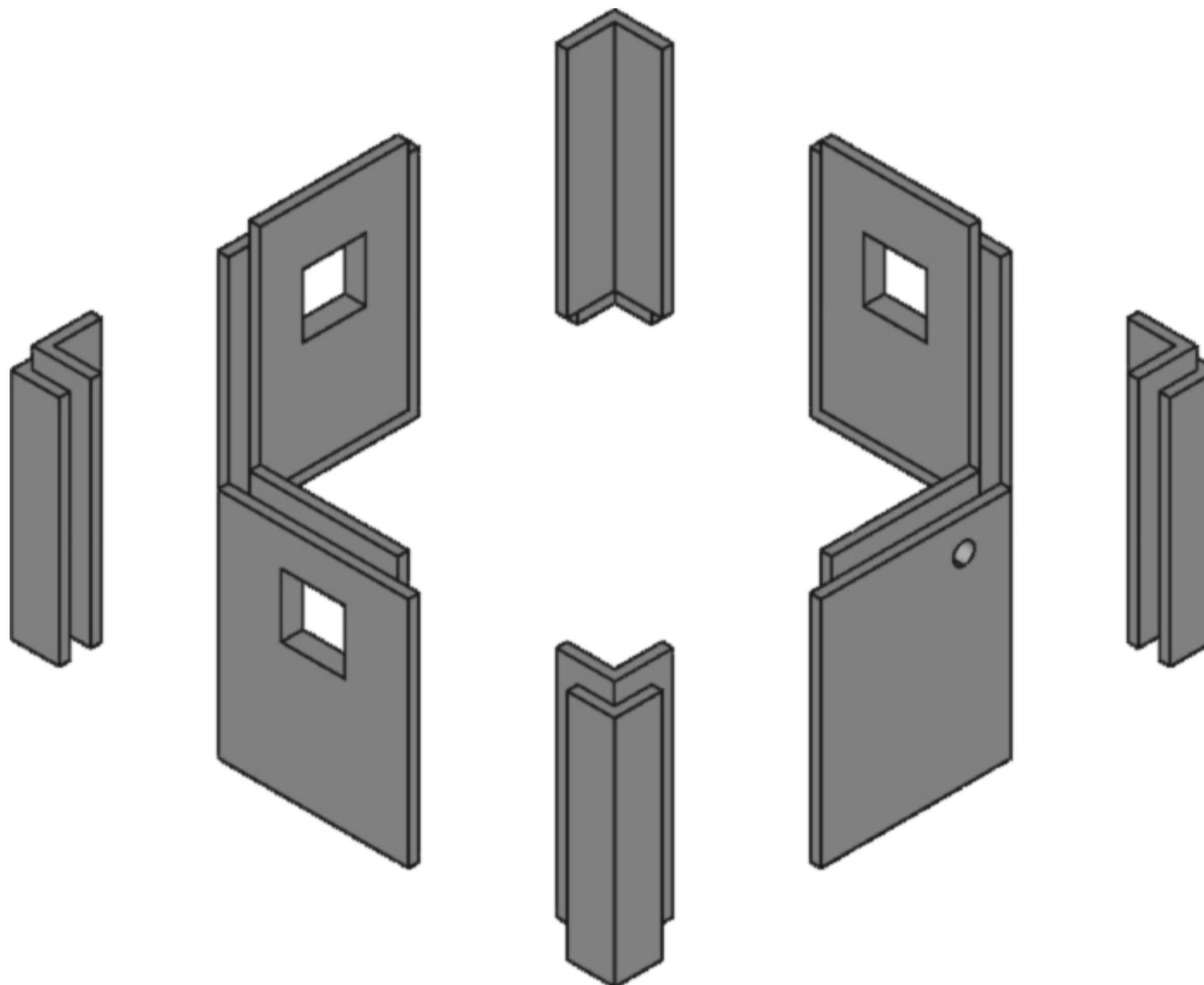
TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO Esquina tipo 2 (perspectiva)	
ESCALA NUMÉRICA	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017



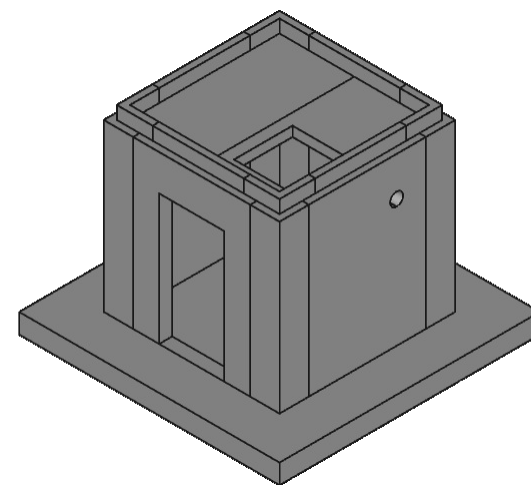
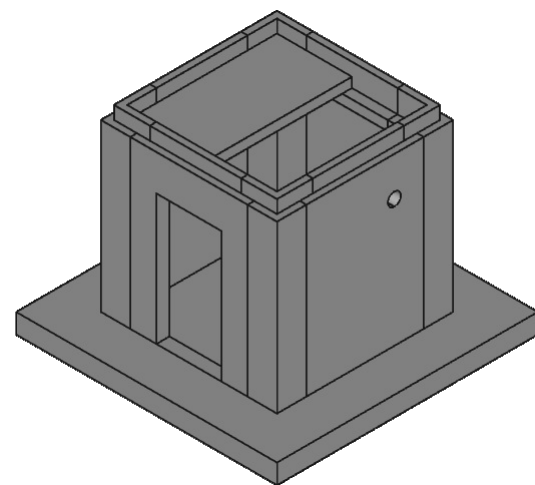
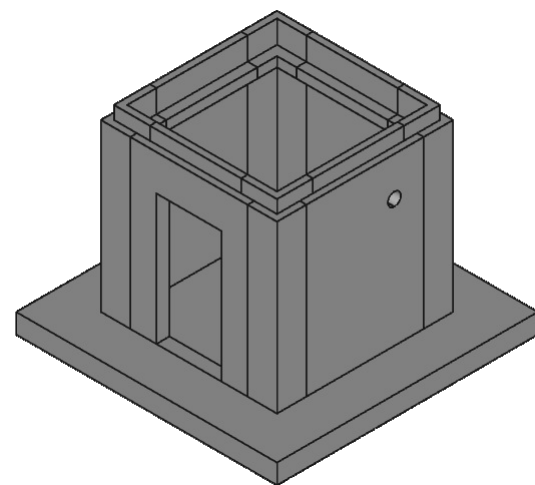
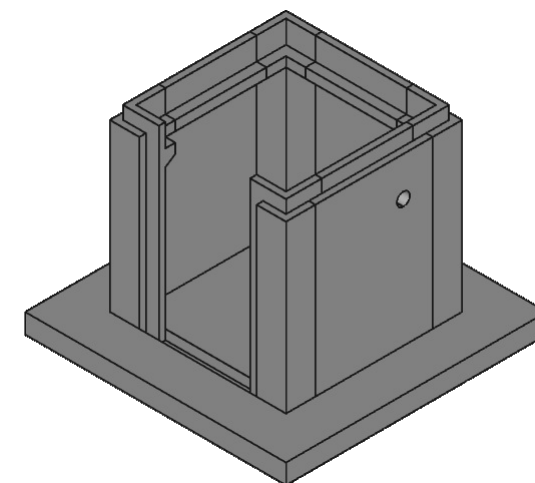
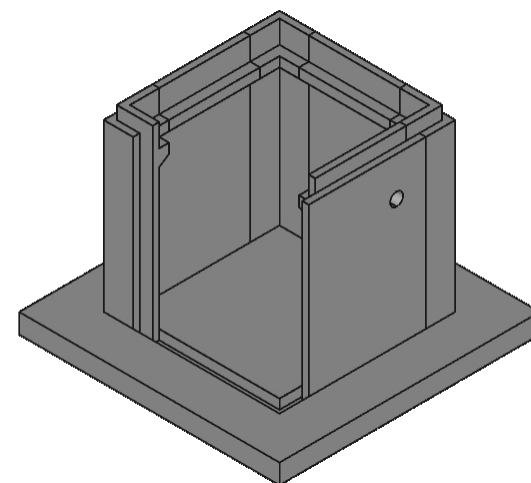
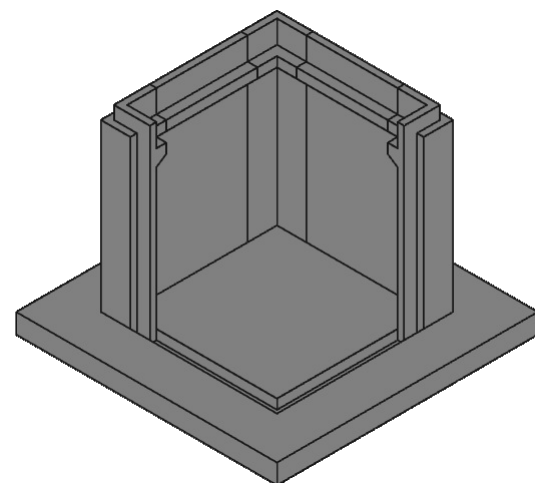
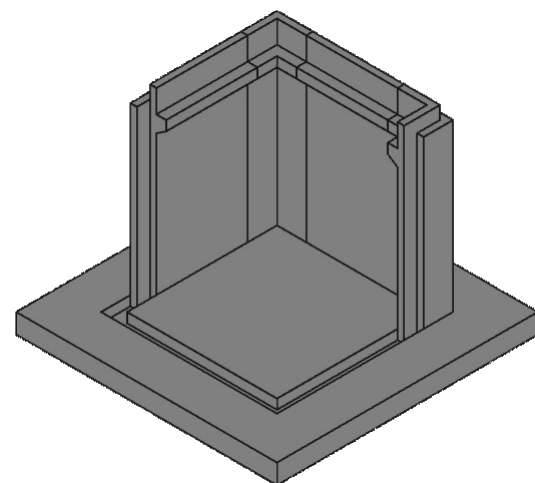
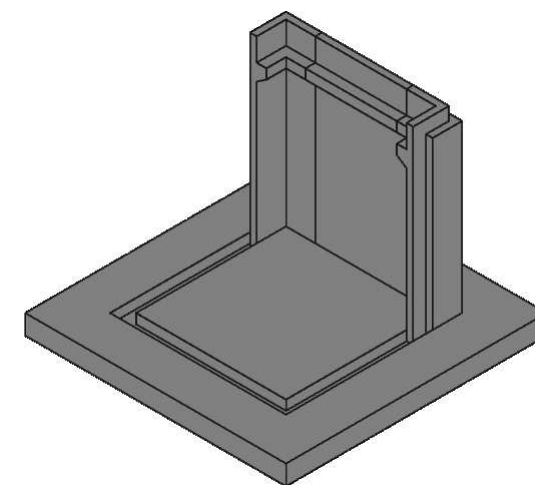
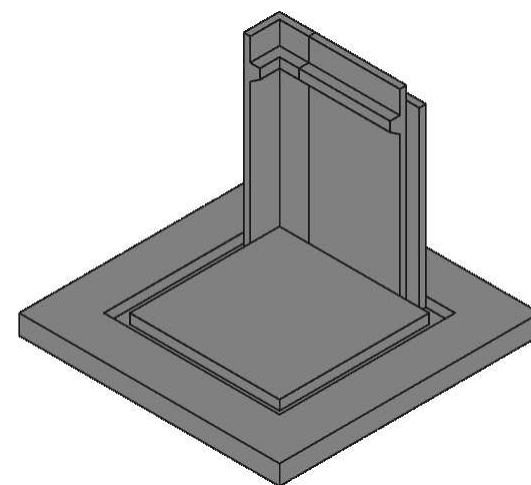
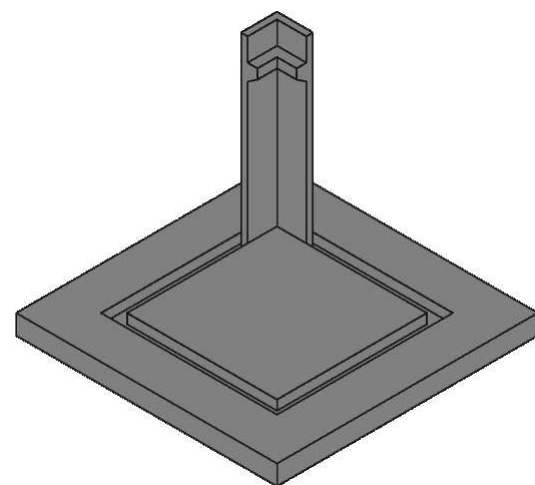
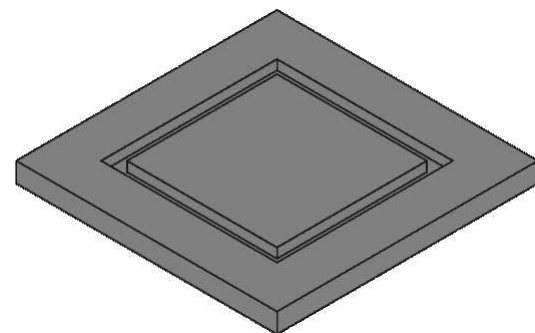
TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO Semicubierta (perspectiva)	
ESCALA NUMÉRICA	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017




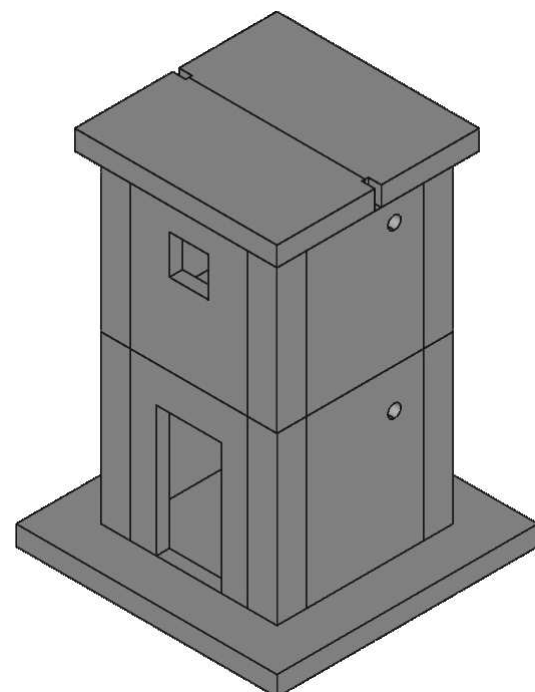
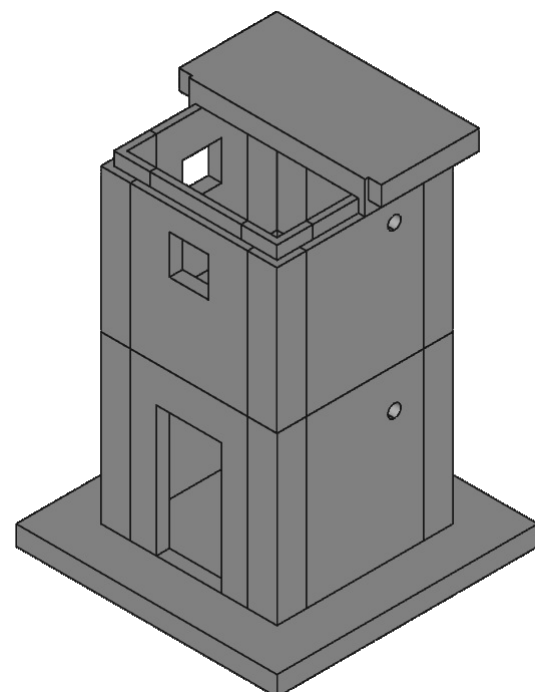
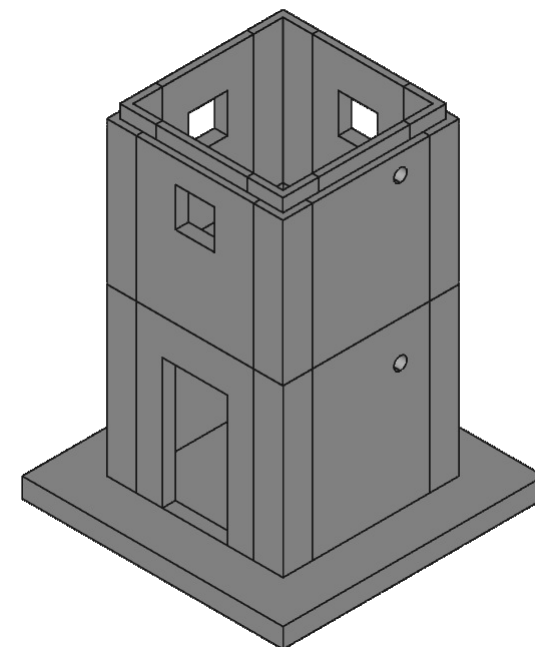
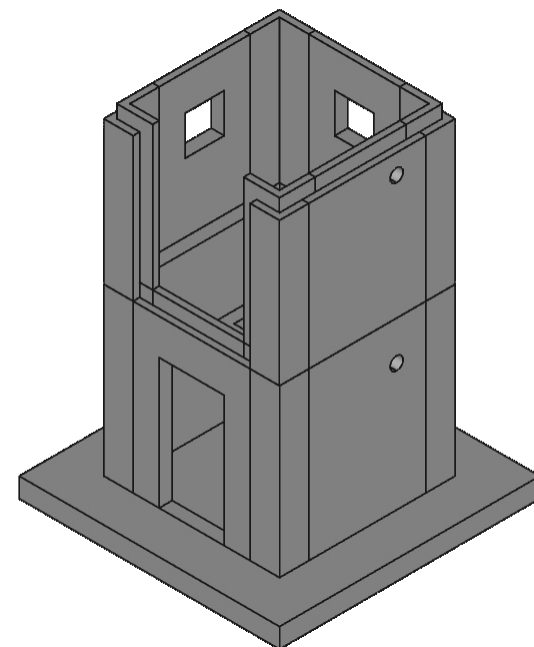
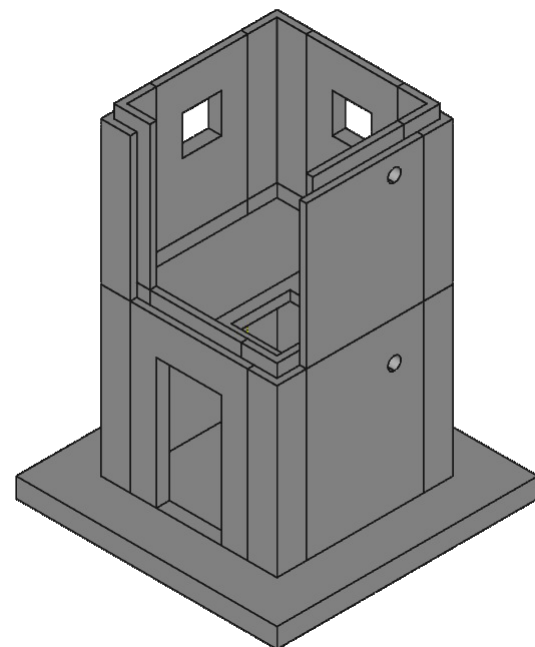
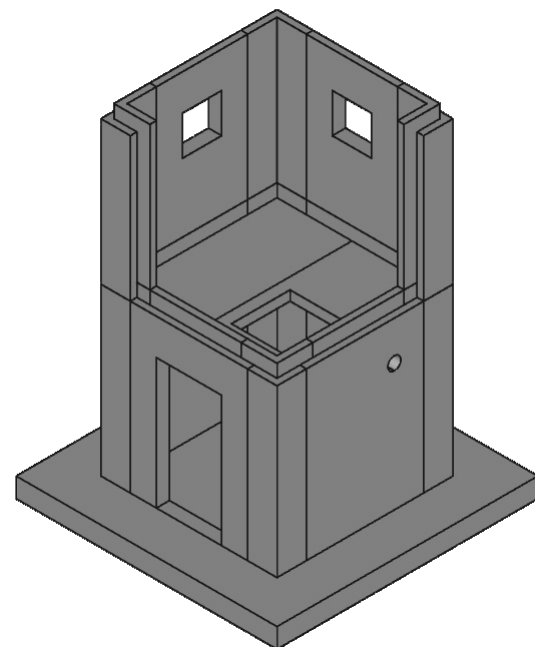
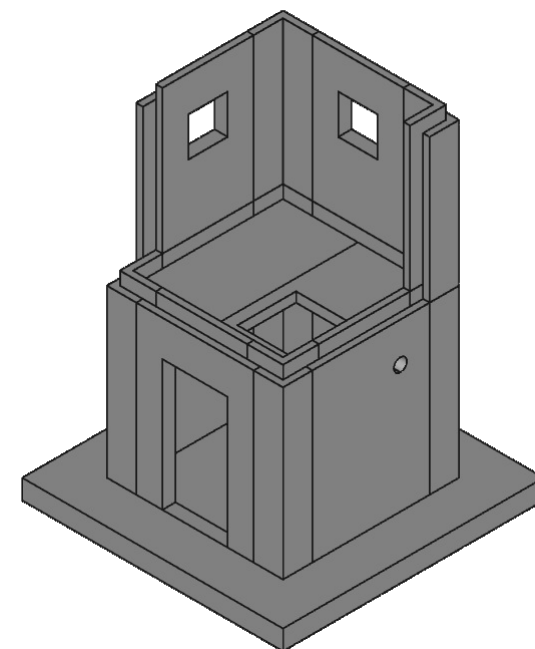
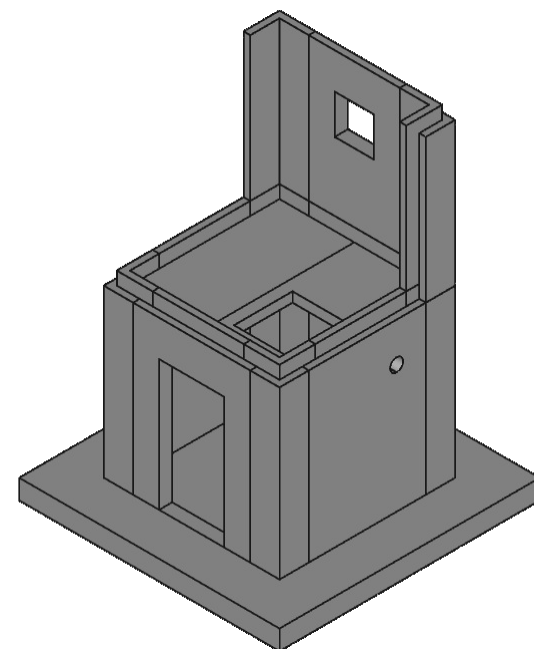
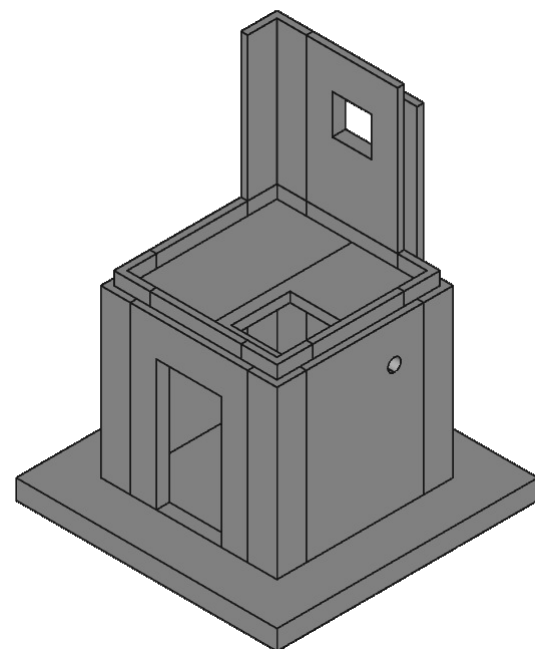
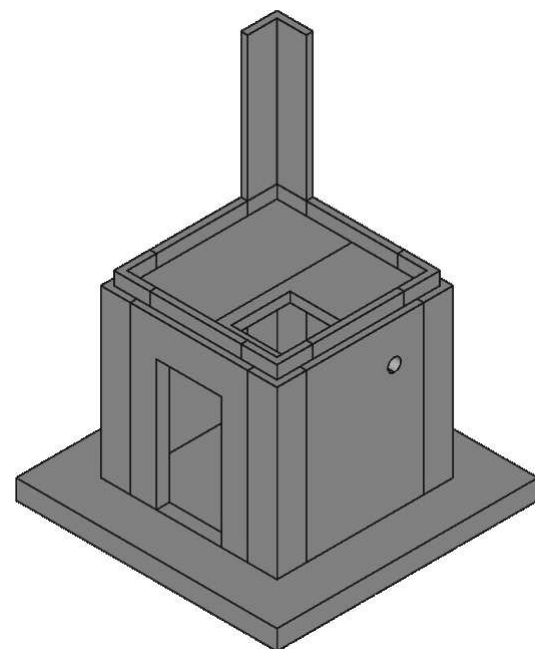
TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO Despiece de la planta baja	
ESCALA NUMÉRICA	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017




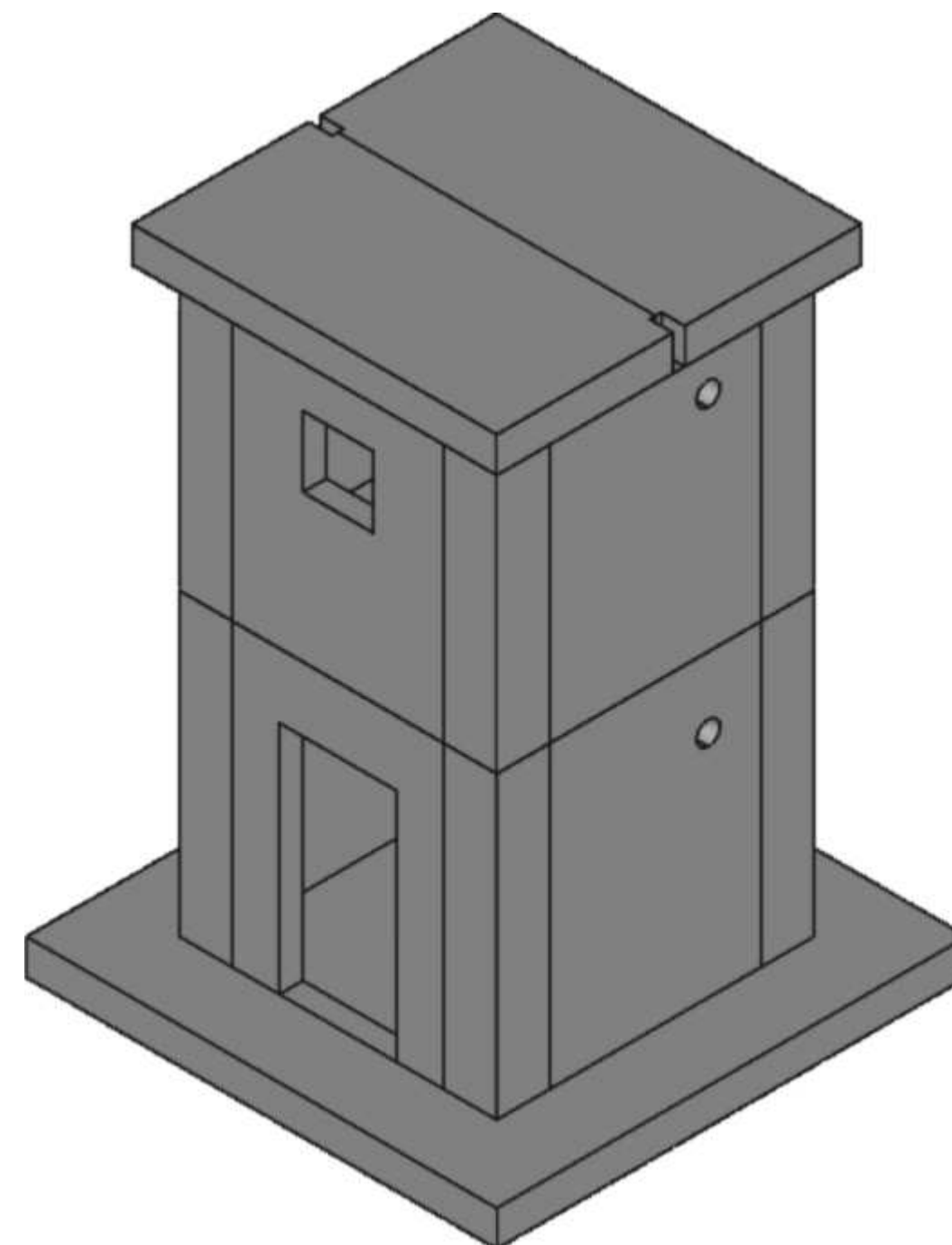
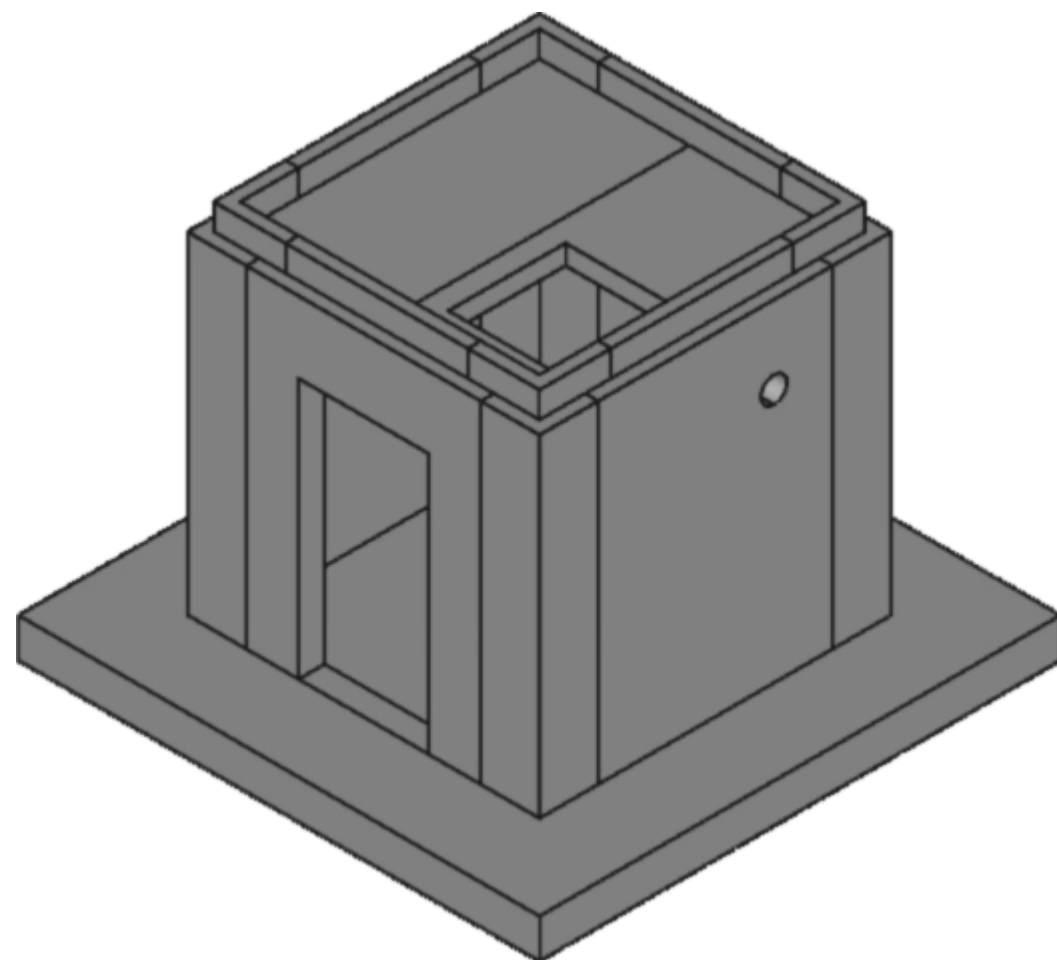
TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO Despiece de la planta alta	
ESCALA NUMÉRICA	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017



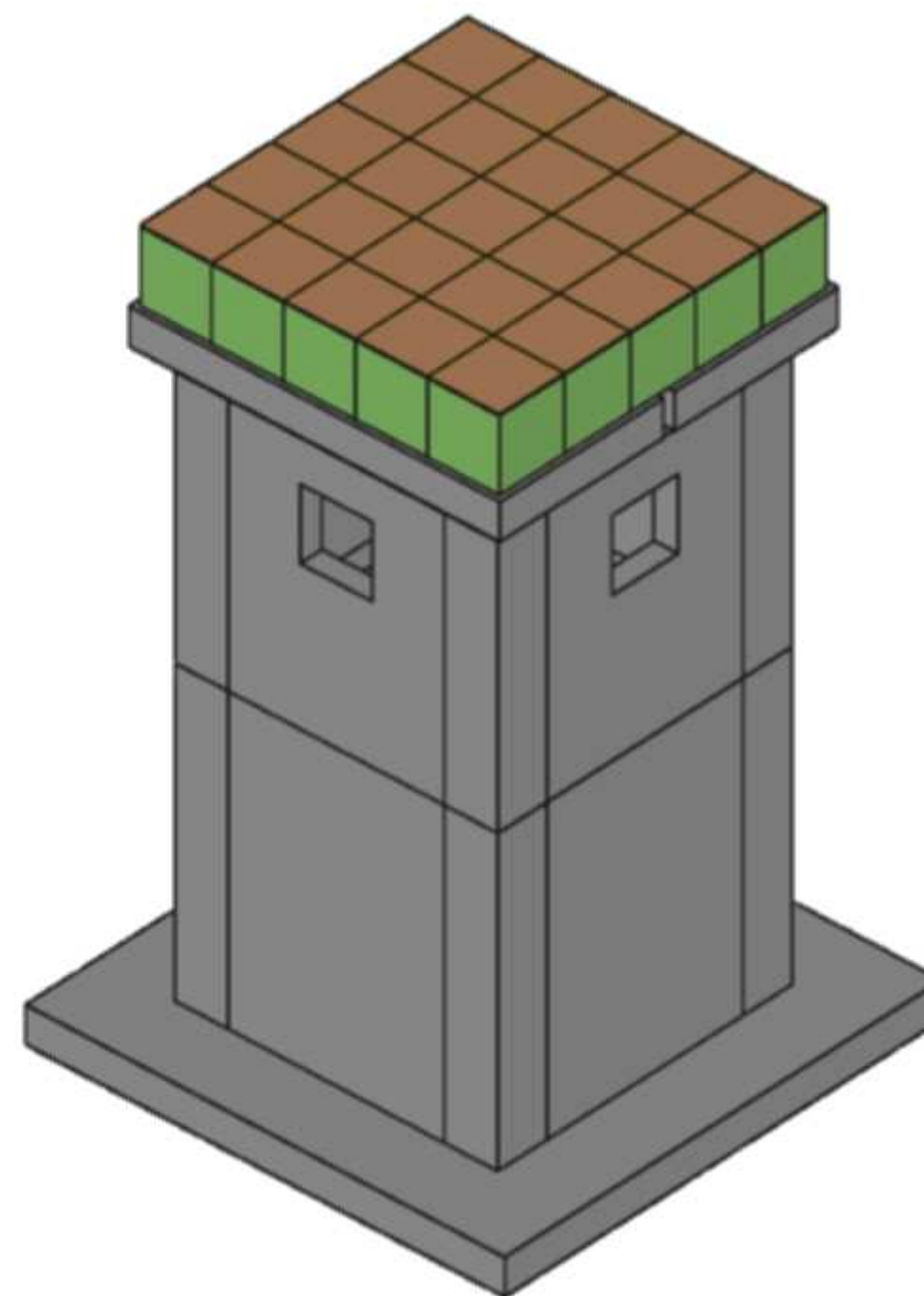
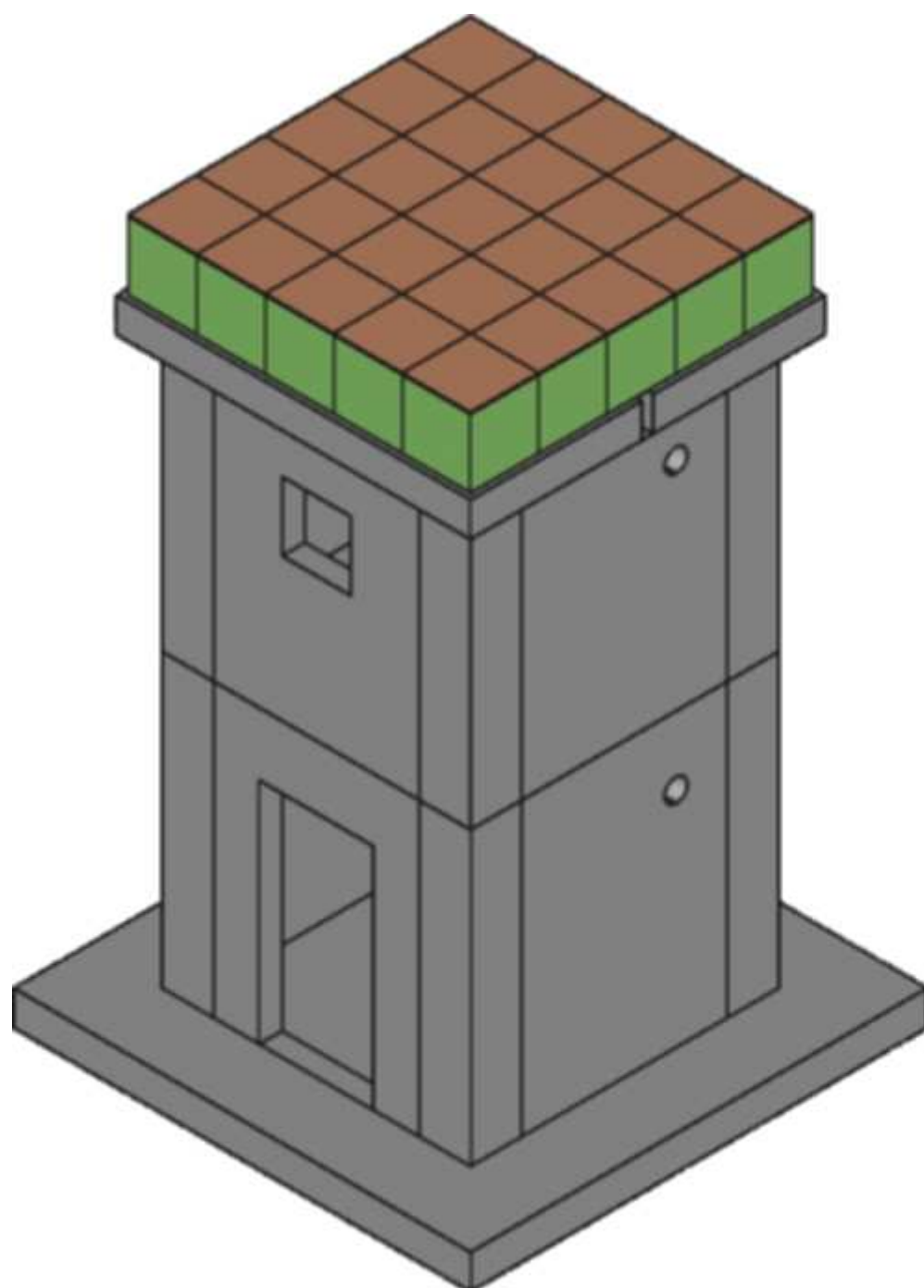
TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO Perspectiva del proceso de montaje de la planta baja	
ESCALA NUMÉRICA	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017




TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO Perspectiva del proceso de montaje de la planta alta	
ESCALA NUMÉRICA	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017



TÍTULO DEL PROYECTO TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO Perspectiva general 1	
ESCALA NUMÉRICA	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	FECHA 1 de marzo de 2017



TÍTULO DEL PROYECTO	
TORRE DE VIGILANCIA PREFABRICADA	
NÚMERO Y TÍTULO DEL PLANO	
Perspectiva general 2	
ESCALA NUMÉRICA	
ESCALA GRÁFICA	
NOMBRE	FECHA
C.A.C. D. Alejandro Magán Debesa	1 de marzo de 2017



ANEXO J-LOSA DE CIMENTACIÓN

En cuanto al dimensionamiento de la losa, se ha realizado un cálculo analítico de la carga de hundimiento del terreno. Al desconocer el terreno donde va ser situado, utilizaremos unas condiciones desfavorables de tal manera que si cumple en este tipo de terreno, cumplirá en otros terrenos más favorables.

Para el cálculo de la carga de hundimiento utilizaremos la formula de Brinch-Hansen de la que existen diferentes versiones que presentan ligeras variaciones en la obtención de algunos coeficientes, en nuestro caso utilizaremos la recomendada en la guía de Cimentaciones en obras de carretera [34] la cual viene determinada por la siguiente fórmula:

$$P_{vh} = q \cdot N_q d_q i_q s_q t_q r_q + c N_c d_c i_c s_c t_c r_c + \frac{1}{2} \gamma B^* N_\gamma d_\gamma i_\gamma s_\gamma t_\gamma r_\gamma$$

Donde:

- P_{vh} : presión vertical de hundimiento.
- q : sobrecarga actuante al nivel del plano de cimentación, en el entorno del cimiento.
- c : cohesión de cálculo.
- γ : peso específico del terreno
- B^* : anchura equivalente del cimiento.
- N_q, N_c, N_γ : Factores de capacidad de carga, adimensionales y dependientes del ángulo de rozamiento interno.
- d_q, i_q, s_q, t_q, r_q : Factores adimensionales para considerar el efecto de la resistencia al corte local del terreno situado sobre el plano de apoyo, la inclinación de la carga, la forma de la cimentación, la proximidad de la cimentación a un talud y la inclinación del plano de apoyo. Los subíndices q, c, γ indican en cuál de los tres términos de la fórmula polinómica deben aplicarse.

Considerando como situaciones desfavorables del terreno [34]:

- Cohesión del terreno $c' = 0,5 \text{ t/m}^2$
- Angulo de rozamiento $\phi' = 20^\circ$
- Resistencia a compresión simple $q_u = 10 \text{ t/m}^2$
- Peso específico saturado del terreno $\gamma_{sat} = 2 \text{ t/m}^3$ (arena suelta bajo el nivel freático)

Y utilizando un factor de seguridad de 2,0, [34] se han calculado mediante el programa Excel los factores de capacidad de carga (Factores N) y los factores adimensionales de corrección y los factores d, i, s, t y r obteniéndose con ello la presión vertical de hundimiento (P_{vh}).

Multiplicando esta presión por la superficie de cimentación, se obtiene la carga de hundimiento, y aplicando el factor de seguridad obtenemos la carga admisible.

Para una losa de tamaño 3 x 3 m y espesor 0,30 m se obtiene una carga hundimiento de 161,8 t que con un factor de seguridad de 2 da una carga admisible de 80,9 t superior al peso de nuestra estructura (losa + torre = 59,7 t) tal y como puede verse en la **Ilustración 28**.

Losa de cimentación					
Profundidad de la cimentación:	D =	0,3 m	Parte del espesor de tierras D por encima del nivel freático	D1 =	0 m
Anchura (dimensión menor en planta):	B =	3 m	Parte del espesor de tierras D bajo el nivel freático:	D2 =	0,3 m
Longitud (dimensión mayor en planta):	L =	3 m			
Excentricidad en lado menor:	eB =	0	Anchura equivalente:	B* =	3 m
Excentricidad en lado mayor:	eL =	0	Longitud equivalente:	L* =	3 m
Profundidad nivel freático:	NF =	0 m	Profundidad del nivel freático bajo el plano de cimentación:	hw =	0 m
			Profundidad de trabajo para cálculo de factores d :	D =	0,3 m
Peso específico seco:	γ_d =	1,6 t/m ³	Peso específico del agua:	γ_w =	1,0 t/m ³
Peso específico aparente:	γ_{ap} =	1,5 t/m ³			
Peso específico saturado:	γ_{sat} =	2,0 t/m ³	Peso específico sumergido:	γ_{sum} =	1,0 t/m ³
Cohesión del terreno:	c' =	0,5 t/m ²			
Ángulo de rozamiento interno:	ϕ' =	20 °			
Resistencia a compresión simple:	q _u =	10 t/m ²			
Resistencia al corte sin drenaje:	S _u =	0 t/m ²			
Ángulo de inclinación:	δ_B =	0 °	tg δ_B =	0,000	
Ángulo de inclinación:	δ_L =	0 °	tg δ_L =	0,000	
Factor de seguridad:	F.S. =	2			
Peso efectivo de las tierras que existen en el entorno de la cimentación:			q =	0,30 t/m ²	
Peso efectivo que mejor representa al terreno sobre el que se apoya la cimentación:			γ =	1,00 t/m ³	
Resultado:	Carga de hundimiento: p _{vh} =	18,0 t/m ²	Carga admisible =	9,0 t/m ²	Factor seguridad: 2
	Carga de hundimiento: P =	161,8 t	Carga admisible =	80,9 t	

Ilustración 28: Cálculos de la losa de cimentación

Fuente: [\[Elaboración propia\]](#), [\[Excel\]](#)

Con el objetivo de aumentar la resistencia frente al vuelco, por un impacto de artillería en el punto superior de la torre (punto más desfavorable para el vuelco), se decidió aumentar la anchura de la losa a un tamaño de 4 x 4 m, consiguiendo aumentar a su vez la carga admisible de hundimiento hasta 153,8 t, por lo que es la que usaremos finamente para nuestra torre de vigilancia.

Una vez calculado el tamaño utilizaremos el programa CYPE para calcular el armado necesario en función del peso de la torre y las dimensiones de la losa antes calculadas.

Tras introducir el tamaño y espesor de la losa así como las cargas lineales transmitidas por la torre a esta, el programa CYPE nos genera una serie de datos y nos recomienda utilizar barras corrugadas (acero B500S) de diámetro 12 mm separadas cada 30 cm tanto en el armado longitudinal como transversal, tal y como se puede apreciar en la **Ilustración 29** e **Ilustración 30**.

Finalmente el programa nos da una aproximación de las cuantías de armado y encofrado que hay que tener para poder realizar la losa (**Ilustración 31**).

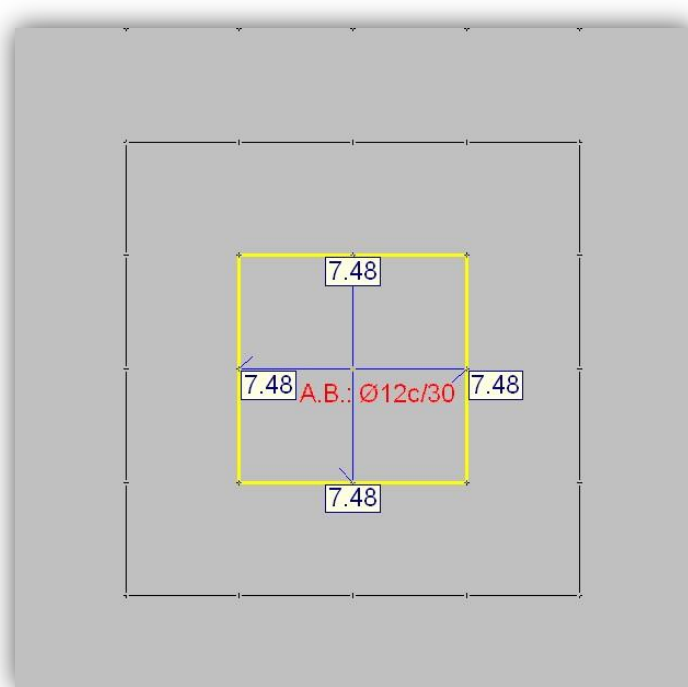



Ilustración 29: Cargas lineales
Fuente: [Elaboración propia], [CYPE]



Armados de losas

Cimentación	Fecha: 04/03/17
Número Plantas Iguales: 1	

Malla 1: Losa maciza

Alineaciones longitudinales

Armadura Base Inferior: 1Ø12c/30

Armadura Base Superior: 1Ø12c/30

Canto: 30

Alineaciones transversales

Armadura Base Inferior: 1Ø12c/30

Armadura Base Superior: 1Ø12c/30

Canto: 30

Ilustración 30: Armado de la losa de cimentación
Fuente: [Elaboración propia], [CYPE]

Cimentación - Superficie total: 16.00 m2			
Elemento	Superficie (m2)	Volumen (m3)	Barras (Kg)
Forjados	16.00	4.80	227
*Arm. base losas			
Vigas	0.00		
Encofrado lateral	4.80		
Total	20.80	4.80	227
Índices (por m2)	1.300	0.300	14.18

Ilustración 31: Cuantías del armado y encofrado
Fuente: [Elaboración propia], [CYPE]



ANEXO K-SISTEMAS DE ELEVACIÓN

Este Anexo muestra los diferentes elementos utilizados para la elevación de los distintos elementos de la torre de vigilancia.

Elevación de la semi-cubierta.

La elevación de la cubierta se llevará a cabo mediante la utilización de eslingas de alta resistencia.

Debido al peso de la semi-cubierta el cual está en torno a las 2,5 tn será necesario usar dos eslingas cada una de una capacidad portante entre 1.000 kg y 2.000 kg.

Reduciendo el ángulo entre la distancia de la eslinga y la horizontal, aumenta el esfuerzo en cada eslinga, aún cuando la carga permanece constante (ver **Ilustración 32**).

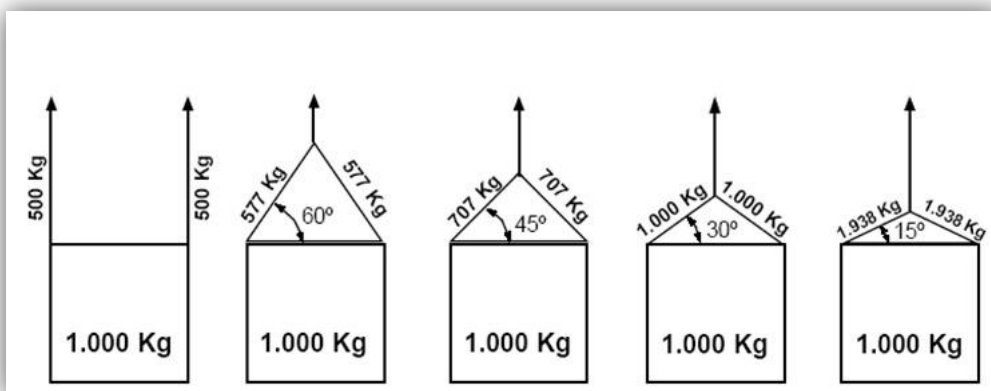


Ilustración 32: Elevación de la carga

Fuente: [35]

Para nuestro caso suponiendo un ángulo que oscila entre 45° y 30° utilizaremos dos eslingas de capacidad portante de 2.000 kg de longitud 7 m (ver **Ilustración 33** y

Tabla 23).



Ilustración 33: Eslinga

Fuente: [36]

Material de fabricación	Europeos de alta resistencia conforme a la norma EN 1492-1
Coefficiente de seguridad	7:1
Tiro directo	2.000 kg
Tiro doble	4.000 kg
Tiro estrangulada	1.600 kg
Ancho	60 mm
Color	Verde

Tabla 23: Características de la eslinga
Fuente: [36]

Finalmente para nuestra semi-cubierta, la forma de colocación de las eslingas quedaría de la siguiente manera (ver **Ilustración 34**).

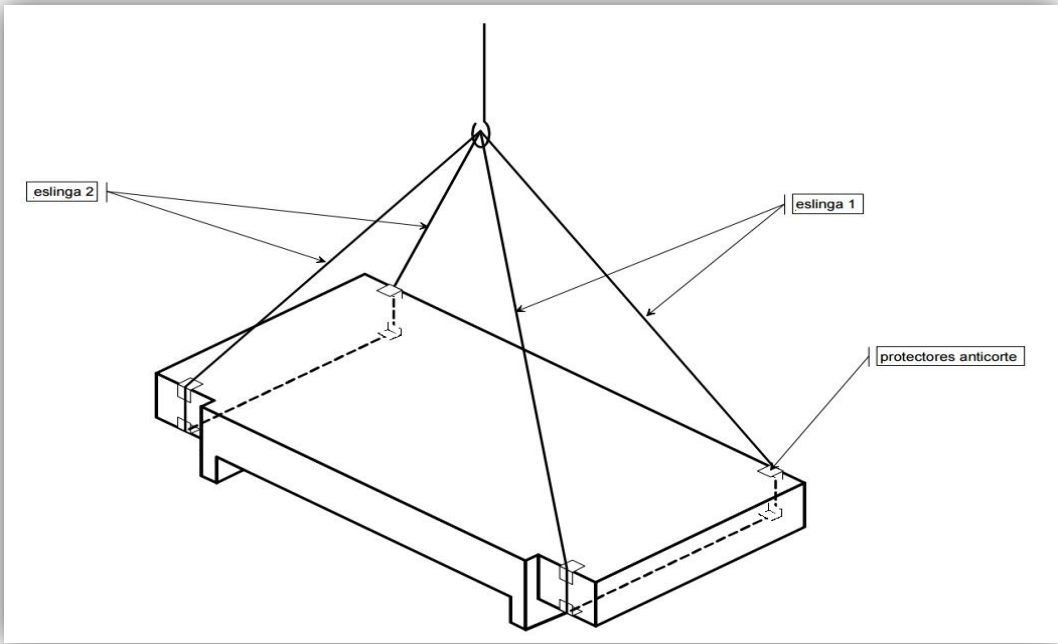


Ilustración 34: Colocación de las eslingas en la semi-cubierta
Fuente: [Elaboración propia]

Elevación de los muros y esquinas

Para la elevación de los muros y esquinas será necesario el uso de unas garras para bloques modelo TAG con de alta capacidad de elevación. En nuestro caso nos hemos decantado por el modelo TAG 5.0/170 (ver **Ilustración 35** e **Ilustración 36**) cuyas características se muestran en la **Tabla 24** y **Tabla 25**.



Ilustración 35: Garras para bloques
Fuente: [37]

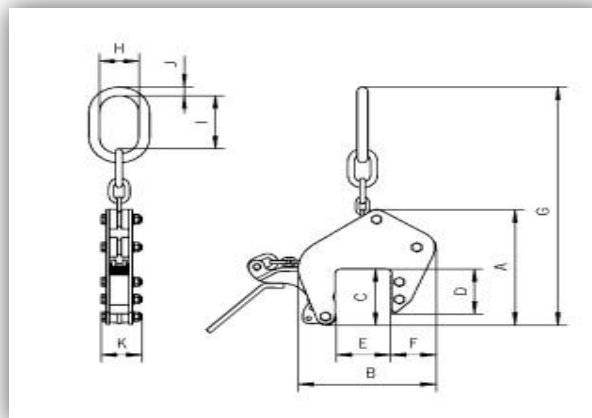


Ilustración 36: Medidas de la garras para bloques
Fuente: [37]

A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	H (mm)	I (mm)	J (mm)	K (mm)
354	423	180	155	170	118	620	82	111	32	147

Tabla 24: Medidas del modelo TAG
Fuente: [37]

Modelo	Capacidad (kg)	Ancho mordaza (mm)	Apertura mordaza (mm)	Peso (kg)
TAG 5.0/170	5.000	170	80-170	43.8

Tabla 25: Datos técnicos del modelo TAG
Fuente: [37]

ANEXO L-SISTEMAS DE UNIÓN

Este Anexo nos muestra los diferentes elementos utilizados para la unión de los diferentes moldes entre sí, así como la unión de la torre a la losa de hormigón.

Tornillo cabeza hexagonal DIN 931 zincado

Clase: 8.8

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Nominal $R_m = 800 \text{ N/mm}^2$

Mínima $R_m = 830 \text{ N/mm}^2$

LÍMITE DE ELASTICIDAD

Nominal $R_e = 600 \text{ N/mm}^2$

Mínimo $R_e = 640 \text{ N/mm}^2$

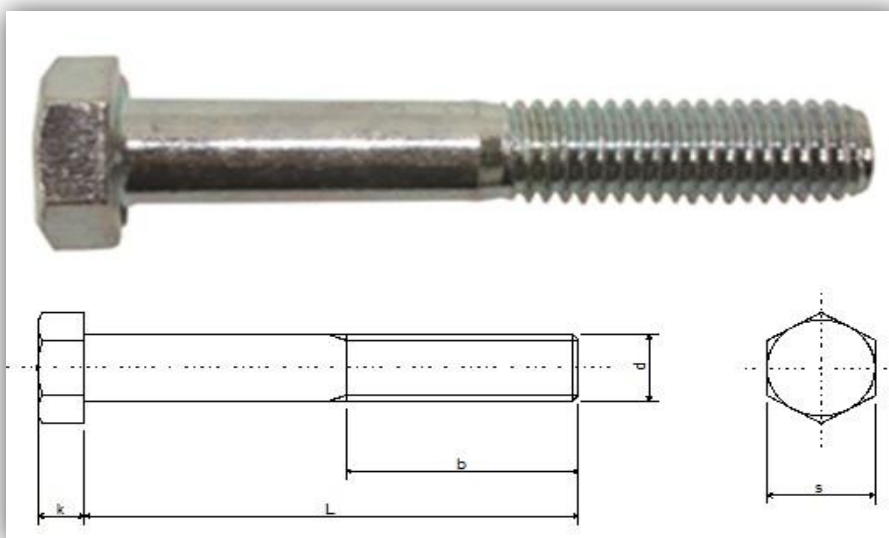


Ilustración 37: Tornillo hexagonal

Fuente: [38]

Tomaremos una longitud para todos los tornillos de **L = 235 mm**

d	s	k	b	Paso
φ rosca	llave		L > 200	
mm	mm	mm	mm	mm
M 24	36	15,0	73	3,00

Tabla 26: Características del tornillo roscado

Fuente: [38]



Tuerca hexagonal DIN 934-8, zincada

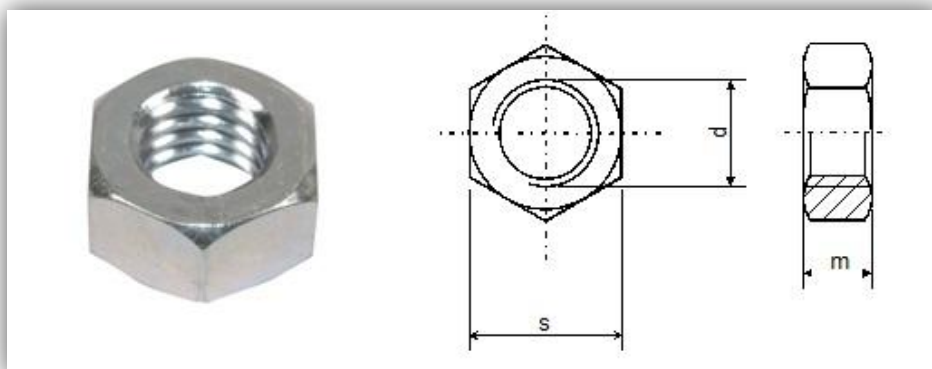


Ilustración 38: Tuerca hexagonal

Fuente: [39]

d	s	m	Paso
φ rosca	llave		
mm	mm	mm	mm
M 24	36	19,0	3,00

Tabla 27: Características de la tuerca

Fuente: [39]

Arandela DIN 1052, zincada

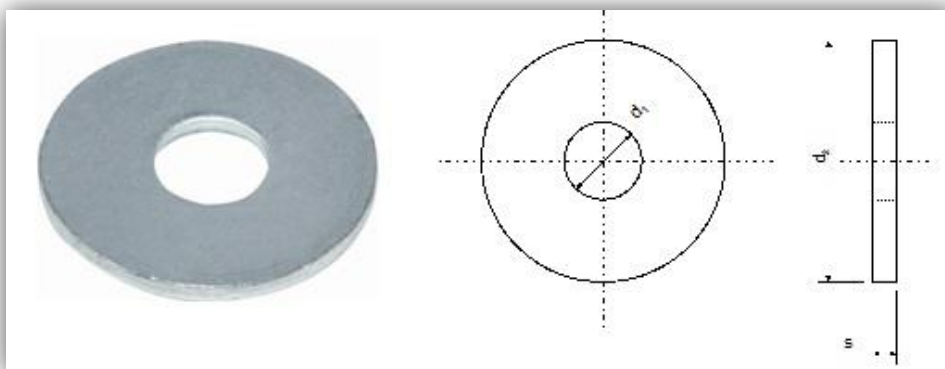


Ilustración 39: Arandela

Fuente: [40]

Para φ rosca	d_1	d_2	s
mm	mm	mm	mm
M 24	27	105	8

Tabla 28: Características de la arandela

Fuente: [40]

Tornillo de anclaje a la losa DIN 933 acero

Clase 8.8

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Nominal $R_m = 820 \text{ N/mm}^2$

Mínima $R_m = 800 \text{ N/mm}^2$

LÍMITE DE ELASTICIDAD

Nominal $R_e = 700 \text{ N/mm}^2$

Mínimo $R_e = 680 \text{ N/mm}^2$

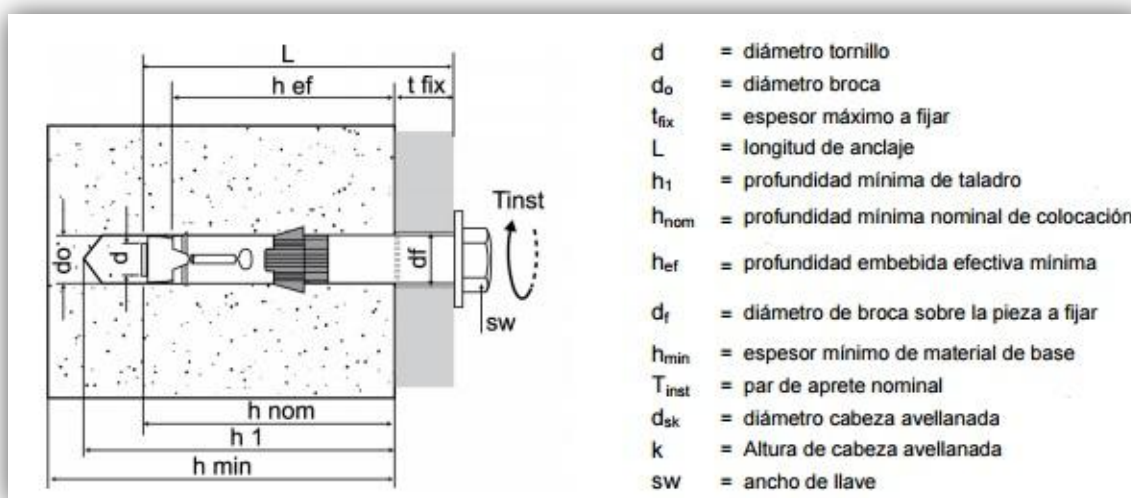


Ilustración 40: Tornillo de anclaje a losa

Fuente: [41]

d	Marca d_o/t_{fix}	L (mm)	t_{fix} (mm)	h_1 (mm)	h_{nom} (mm)	h_{ef} (mm)	d_{ef} (mm)	h_{min} (mm)	T_{inst} (mm)	sw
M 16	Ø24/25	140	25	130	115	99	26	200	150	24

Tabla 29: Medidas del tornillo de anclaje a la losa

Fuente: [41]

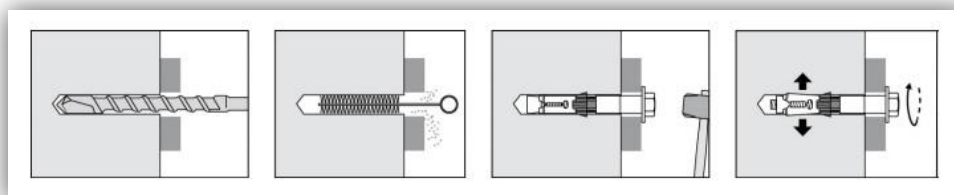


Ilustración 41: Proceso de instalación del tornillo a la losa

Fuente: [41]



Perfil en L de acero F-36

Para aumentar la sujeción entre la losa y la torre de vigilancia, esta será fijada mediante perfiles en L de acero de alta resistencia F-36 en todo el contorno exterior de la torre.

La longitud de las dos alas será de 200 mm, mientras que el espesor será de 20 mm. Cada perfil constará con una serie de agujeros en ambas alas separados 40 mm para poder introducir en ellos los tornillos de fijación a la losa y a las paredes.

Las características del acero así como las medidas del perfil se pueden ver en la **Tabla 30** e **Ilustración 42**.

Designación	Resistencia a la Tracción mínima (MPa)	Límite de fluencia mínimo (MPa)	Alargamiento de rotura (%)
F-36	520	360	22

Tabla 30: Características del acero F-36

Fuente: [42]

A = Área de la sección
 I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X
 I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y
 I_z = Momento de inercia de la sección, respecto a Z
 I_η = Momento de inercia de la sección, respecto a η
 $W_x = I_x / (b - c)$. Módulo resistente de la sección, respecto a X
 $W_y = I_y / V_1$. Módulo resistente de la sección, respecto a Y
 $i_x = \sqrt{I_x / A}$. Radio de giro de la sección, respecto a X
 $i_y = \sqrt{I_y / A}$. Radio de giro de la sección, respecto a Y
 $i_z = \sqrt{I_z / A}$. Radio de giro de la sección, respecto a Z

u = Perímetro
 p = Peso por m
 a = Diámetro del agujero del roblón normal

Perfil	Dimensiones				Posición del centro				Términos de sección				Agujeros				Peso							
	b	e	r	t ₁	u	c	v ₁	v ₂	w	A	I _x	I _y	I _z	W _x	W _y	i _x	i _y	i _z	w ₁	w ₂	w ₃	a	p	
	mm	mm	mm	mm	mm	cm	cm	cm	cm	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm	cm	cm	mm	mm	mm	mm	kg/m	
L 200. 20	200	20	18	9,0	785	5,68	8,04	7,15	14,10	76,30	2.850,0	4.530,0	1.170,0	199,0	146,00	6,11	7,70	3,92	60	150	50	28	59,90	C

Ilustración 42: Medidas del perfil en L

Fuente: [43]

ANEXO M-ANÁLISIS DE COSTES

El siguiente Anexo muestra los costes totales por capítulos desglosados en partidas, incluidos costes indirectos, beneficio industrial e IVA. No se incluyen gastos generales.

Al no tener una zona de emplazamiento fija, no se ha podido tener en cuenta los costes generales del proyecto (coste de transporte, coste de montaje etc.). Tampoco se incluye el gasto de personal para el montaje de la torre.

Piezas de hormigón

El coste por metro cúbico de hormigón será de **362,5 €** según nos presupuestó la empresa PREHORQUISA en base al pliego de descripciones técnicas del hormigón (**ANEXO D**, pág. 86 a 88)

Tipo	Descripción	V(m³)	nº unidades	V(m³)	Importe (€)
Pared 1	Maciza (planta baja)	0,934	2	1,868	677,15
Pared 2	Con puerta	0,543	1	0,543	196,84
Pared 3	Con ventilación (planta baja)	0,928	1	0,928	329,51
Pared 4	Con ventana	0,656	3	1,968	713,43
Pared 5	Con ventilación (planta alta)	0,698	1	0,698	246,14
Piso intermedio 1	Macizo	0,363	1	0,363	131,59
Piso intermedio 2	Hueco escalera	0,267	1	0,267	70,09
Esquina 1	Planta baja	0,529	4	2,114	766,34
Esquina 2	Planta alta	0,396	4	1,584	574,23
Semicubierta	Techo	1,061	2	2,122	769,23
Total	-	6,375	20	12,455	4.547,20

Tabla 31: Importe piezas de hormigón
Fuente: **[Elaboración propia]**



Losa de cimentación

El precio de la losa de hormigón será calculado mediante el programa CYPE. Hay que recordar que este precio no es real puesto que el programa CYPE genera el presupuesto en territorio español, es solo para hacernos una idea de lo que podría costar una losa de estas características.

Losa	Unidades	Coste ud (€)	Importe (€)
Superficiales ¹	4	144,48	643,50
Regularización ²	16	9,06	144,96
Total cimentación	-	-	838,46

Tabla 32: Importe losa de cimentación

Fuente: [Elaboración propia]

1. Losa de cimentación de hormigón armado, realizada con hormigón HA-30/B/20/IIa fabricado en central y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 47,4 kg/m³; acabado superficial liso mediante regla vibrante.
2. Capa de hormigón de limpieza HL-150/B/20 fabricado en central y vertido desde camión, de 10 cm de espesor.

Elementos de unión

Tipo	Número de uds	Coste (€)	Importe (€)
Tornillos de unión entre módulos	137	15,60	2.137,72
Tuercas	137	0,56	77,32
Arandelas	274	0,38	104,12
Tornillos de anclaje a la losa	22	13,40	294,80
Tornillos de anclaje para ventana¹	27	0,051	1,39
Total	-	-	2.615,35

Tabla 33: Importe elementos de unión

Fuente: [Elaboración propia]

Perfiles en L

Tipo	Metros de perfil	Peso (kg/m)	Total de kg	Coste €/kg	Importe €/kg
Perfil en L de acero F-36 (200 x 200 x 20 mm)	8,70	59,90	521,13	1,98	263,20

Tabla 34: Importe de los perfiles en L
Fuente: [[Elaboración propia](#)]

Ventanas

Tipo	Número de uds	Coste (€)	Importe (€)
Cristal blindado (BR7 NS)¹	3	164,51	493,53
Marco para ventana de aluminio 60 x 40 cm	3	42,37	127,12
Total	-	-	620,65

Tabla 35: Importe ventanas
Fuente: [[Elaboración propia](#)]

1. Templados y laminados 8+8 transparente 87 mm de espesor

**Puerta blindada**

Tipo	Número de uds	Coste (€)	Importe (€)
Puerta de acero blindada	1	2.743,82 ¹	2.743,82
Total	-	-	2.743,82

Tabla 36: Importe puerta blindadaFuente: **[Elaboración propia]**

1. Precio proporcionado por la empresa TECKENTRUP

Elemento de sujeción y elevación

Tipo	Número de uds	Coste (€)	Importe (€)
Garras de elevación TAG 5.0/170	2	547,25	1.094,50
Eslinga plana modelo D 2000	4	10,19	40,75
Total	-	-	1.135,25

Tabla 37: Importe de elementos de sujeción y elevaciónFuente: **[Elaboración propia]**

Importe por partidas

Partida	Importe (€)
Piezas de hormigón	4.547,20
Losa de cimentación	838,46
Elementos de unión	2.615,35
Perfiles en L	263,20
Ventanas	620,65
Puerta blindada	2.743,82
Elementos de sujeción y elevación	1.135,25
Total	12.763,93

Tabla 38: Importe por partidas
Fuente: [Elaboración propia]